

ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ К КВАНТОВОЙ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ К КВАНТОВОЙ

ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ УЧЕНИЯ О СТРОЕНИИ МАТЕРИИ

Под редакцией

Б. М. ВУЛА и Е. Л. ФЕЙНБЕРГА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1962

В брошюре рассказывается о важнейших проблемах современной физики — о строении материи и законах ее движения. Нарисована общая картина развития научных представлений о материи и движении — от натурфилософских догадок древних до современных идей, относящихся к элементарным частицам. Авторы показывают, как философия диалектического материализма помогает наметить верный путь решения принципиальных проблем физики и правильно интерпретировать новые фундаментальные открытия.

ОТ АВТОРОВ

Некоторые вопросы современной физики, особенно те, которые связаны с развитием основных идей атомизма и с разработкой квантовой теории движения микрообъектов, неоднократно служили предметом ожесточенных философских дискуссий. В какой-то степени эти дискуссии являлись следствием неумения разделить проблемы широкого философского значения и вполне конкретные, иногда весьма сложные вопросы строения и движения тех или иных видов материи. При этом недостаточно четкое понимание основных положений, представлений и выводов физики приводило иногда философов к попыткам отвергнуть или, наоборот, превознести то или иное физическое положение без достаточных научных оснований. Поэтому для формирования современного научного мировоззрения крайне важно четко разобраться в основных достижениях современного естествознания вообще и физики, в частности, и суметь извлечь из этих достижений правильные философские выводы.

Уместно напомнить в связи с этим два широко известных утверждения В. И. Ленина о соотношении между физикой и философией. Это прежде всего высказывание о том, что в наши дни наука так же партийна, как и 2000 лет назад; она не может оставаться нейтральной в борьбе основных философских направлений, а попытки остаться «объективным» очень часто приводят ученых в объятия самой реакционной философии. С другой стороны, сейчас более чем когда либо мы убеждаемся в исключительной проницательности Ленина, писавшего, что современная физика «рождает диалектический материализм». Действительно, становится все более очевидным, что воззрения не только советских, но и передовых зарубежных ученых в вопросах науки по существу являются воззрениями диалектического материализма, хотя подчас сами зарубежные ученые этого не видят, не умея отличить диалектический материализм от метафизического.

Данная брошюра возникла первоначально как вспомогательное пособие для философских семинаров Физического института им. П. Н. Лебедева Академии наук СССР, в которых изучался диалектический материализм и в частности бессмертный труд В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». В дальнейшем по инициативе партийного комитета Физического института было проведено широкое обсуждение брошюры, способствовавшее ее улучшению.

В написании брошюры в разное время принимали участие: С. З. Беленький, Б. М. Вул, Г. Ф. Жарков, Г. Б. Жданов, В. П. Силин, В. Я. Файнберг и Е. Л. Фейнберг. Весьма полезный вклад в ее создание внес также М. А. Марков, которому авторы приносят глубокую благодарность.

ВВЕДЕНИЕ

Наука в течение тысячелетий ощупью подходила к современному учению о строении материи. На твердой основе опытных фактов это учение сложилось главным образом в XIX и XX вв. и характеризуется следующими четырьмя принципиальными чертами.

Современное учение о материи является *атомистическим*, поскольку любое тело, любое поле сил оказывается составленным из «элементарных» тел и «элементарных» полей, так называемых микрочастиц и микрополей. Массы этих элементарных объектов чрезвычайно малы по сравнению с массами макроскопических тел и макроскопических полей, непосредственно ощущаемых человеком. Все многообразие качеств макрообъектов при этом возникает из многообразия возможных сочетаний микрообъектов. Сами же микрообъекты распадаются по своим качествам на небольшое число видов — несколько десятков (электроны, протоны, фотоны и т. п.), причем различные экземпляры микрочастиц данного вида тождественны по своим качествам.

Это учение существенно использует *статистические* представления уже потому, что свойства микрообъектов и закономерности их движений, взаимодействий, превращений и вообще переходов из одного состояния в другое существенно определяются статистическими законами сложения взаимодействий и движений большого числа микрообъектов, образующих данный макроскопический объект. Более того, здесь статистический характер закономерностей приобретает черты фундаментального закона, ограничивающего роль механического детерминизма.

Современная теория строения материи является, далее, *квантовой*, поскольку свойства и закономерности движения отдельных микрочастиц качественно отличаются от свойств и закономерностей движения макроскопических тел, уже давно раскрытых классической физикой. Эти новые, своеобразные, так называемые квантовые закономер-

ности в значительной мере затушевываются при сложении огромного числа микрочастиц в макротело. Для описания движения микрочастиц была создана новая глава физики — квантовая механика, или квантовая физика. В квантовой физике снимается или, по крайней мере, становится условным, относительным противопоставление между частицей и полем, между дискретным и непрерывным.

Наконец, эта теория является *релятивистской*, потому что взаимосвязь пространства, времени и материи в этой теории описывается теорией относительности, называемой также релятивистской теорией (этот термин лишь чисто внешне совпадает с релятивизмом в философском смысле; философский релятивизм представляет собой разновидность идеализма).

Если учение о строении вещества понимать в узком смысле, т. е. как учение о формировании макроскопических тел из недоступных непосредственному восприятию отдельных элементарных образований — атомов, а атомов из электронов и ядер, то это учение можно считать в высокой степени завершенным. Разумеется, наука не остановилась на решении этой проблемы, но, обнаружив и изучив превращения различных типов так называемых элементарных частиц друг в друга, подошла к решению еще более глубоких проблем строения материи. Продвижение на этом пути не носит характера механического накопления фактов, привнесения дополнительных малых поправок в уже развитую теорию. Наоборот, на каждом новом этапе вскрываются кардинально новые свойства физического мира, которые, не обесценивая прошлых достижений, существенно видоизменяют наше знание основных законов природы. Этот диалектический характер процесса познания неоднократно проявлялся и в далеком и в недалеком прошлом. Одним из последних примеров служит недавно обнаруженное так называемое несохранение четности.

Свойства макроскопических тел определяются свойствами микрочастиц и закономерностями их движения. Естественно, что только опытное изучение свойств микрочастиц, ставшее доступным в XIX и XX вв., позволило создать современную теорию строения вещества. В течение же предшествующего периода все попытки решения проблемы строения вещества в очень большой степени предпринимались на натурфилософской основе. Так, например, на протяжении тысячелетий, в большинстве случаев материали-

сты-философы были сторонниками атомизма. Хотя ряд опытных фактов действительно указывал на атомистический характер строения вещества, доказать его научно в то время было невозможно. Лишь конкретные достижения экспериментальной и теоретической физики в XIX и XX вв. внесли здесь ясность.

КРАТКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ АТОМИСТИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРОЕНИИ МАТЕРИИ

Многие идеи, которые являются основными для современного учения о строении материи, возникли еще в глубокой древности. Конечно, на первой ступени своего развития учение о материи имело еще мало общего с физикой в современном ее понимании. Тем не менее за много веков до начала нашей эры в древнем Египте и древней Индии мыслители уже пытались решить вопрос о единой материальной первооснове всех природных явлений. Так, у древних египтян возникают еще весьма наивные представления о воде, которая произвела все вещи, и о воздухе, пребывающем во всех вещах. Несколько более сложна система мироздания индийского материалистического учения «локайата» (в буквальном переводе — взгляды обычных людей), согласно которому все в мире, в том числе и человеческий организм, состоит из четырех основных элементов — огня, воздуха, воды и земли. Материалистическая направленность этого учения особенно ясно выступает в утверждении, что сознание появляется лишь в результате благоприятного, но неизбежно вре́менного, преходящего сочетания тех же основных элементов мира. Упомянутые здесь элементы признаются и в ряде более поздних философских учений в древней Греции, выдвинутых Эмпедоклом, Фалесо̆м, Анаксименом, Гераклитом.

Качественно новый этап в учении о веществе связан с появлением атомистики Левкиппа и Демокрита (V—IV вв. до н. э.) [1], представления которых получили дальнейшее развитие у Эпикура и Лукреция.

---

[1] Первые зачатки атомизма встречаются уже в VI в. до н. э. в древнекитайском философском учении, так называемом диосизме.

Главная направленность атомистики, как отчетливо представляли себе уже ее основатели, состояла в том, чтобы свести все многообразие и все изменения свойств материи к сравнительно небольшому числу объективных свойств и закономерностей элементарных материальных сущностей. Вполне естественно, что на первой стадии развития атомистика сводила эти элементарные свойства к геометрическим и механическим. Атомы Демокрита наделены двумя существенными качествами: протяженностью (формой и величиной) и движением (в чисто механическом смысле). Демокрит считал, что различие в форме атомов, а также в их количестве и пространственном сочетании определяет в принципе все многообразие свойств вещей, а механическое перемещение неделимых и неразрушимых по своей природе частиц — все многообразие явлений, происходящих в природе.

Атомистика Демокрита подвергалась ожесточенным нападкам со стороны противников этой теории, в частности резкой критике со стороны Аристотеля, но не могла, естественно, противопоставить им достаточно убедительных аргументов в обоснование тех или иных конкретных представлений. Однако неверно было бы думать, что все это учение о мельчайших, недоступных непосредственному наблюдению частицах материи носило чисто умозрительный характер. Целый ряд метких наблюдений над испарением и конденсацией жидкостей, над распространением запахов, постепенным стиранием твердых тел и т. д. давали прямые экспериментальные указания в пользу того, что отдельные, не поддающиеся наблюдению частицы вещества уже являются объективными носителями основных его свойств (запах, вкус, цвет) и в то же время безотносительно к органам чувств характеризуются определенными качествами. Эти же наблюдения показали, что существует прямая связь между изменениями вещей и движением их частиц.

Натурфилософское учение Аристотеля (IV в. до н. э.) также исходило из объективности материального мира и признавало неуничтожаемую и способную к превращениям «первоматерию» как основу всего бытия. Аристотель считал, что «первоматерии» присущи «первичные качества», образующие две пары противоположностей: теплое — холодное, сухое — влажное. Все изменения в мире осуществляются в результате борьбы этих противоположных первичных качеств. Упомянутые выше четыре «элемента»

мира — огонь, воздух, вода и земля — у Аристотеля олицетворяют эти первичные качества в определенных их сочетаниях.

Основное содержание этого натурфилософского учения об элементах мира состояло в сведéнии всего многообразия явлений окружающей природы к некоторым основным качествам материи и наряду с этим в стремлении объяснить происходящие в природе изменения соответствующими сочетаниями и взаимными переходами этих первичных качеств.

На этом примере мы видим, что в принципе учение о материи может быть не атомистическим и в то же время в своей основе материалистическим. Поэтому неоднократные попытки отождествить чистый атомизм с материалистическим учением, строго говоря, необоснованы.

Однако прогрессивное и безусловно материалистическое по своей первоначальной направленности учение, развивавшееся Аристотелем уже после возникновения атомистических теорий и в борьбе с ними, постепенно теряло свою материалистическую основу, поскольку оно не продвинулось дальше анализа явлений с точки зрения человеческих ощущений.

Двумя существенными особенностями атомизма древности были неизменность атомов и противопоставление атомов пустому пространству. Первая особенность приводила к важному выводу о несотворимости и неуничтожаемости материи, но наряду с этим не позволяла даже ставить вопрос о причинах, которые могли бы вызвать изменения атомов. Вторая особенность подчеркивала объективный характер пространства и движения, но в то же время отражала метафизические представления о пространстве и времени, характерные, правда, для всей последующей истории физики, вплоть до начала XX в.

Следующий этап развития атомизма неразрывно связан с успехами прикладной и теоретической механики. Изучение основных законов механического движения земных и небесных тел (Галилей, Ньютон), вместе с проверкой и широким практическим применением полученных знаний в технике способствовали в XVII и особенно в XVIII вв. расцвету механистического мировоззрения, т. е. мировоззрения, сводящего все изменения, движения и состояния тел к механическим движениям и причинам. Именно в этот период формируются такие фундаментальные физические

понятия, как сила и масса, представления о количественной мере движения и о сохранении массы и движения. Следует иметь в виду, что оставшиеся со времени Аристотеля весьма смутные представления о причинах движения тел допускали совершенно превратные, по существу теологические и, следовательно, идеалистические толкования.

Аристотель говорил о четырех видах причин (в том числе о «формальной» и «целевой» причинах), о скрытых качествах и т. д. Не удивительно поэтому, что крупные успехи в познании основных законов механического движения в его простейших случаях и последующее развитие теоретических представлений в применении к более сложным проблемам (механика твердых тел, жидкостей и газов) вызвали крушение этих идеалистических воззрений.

Однако эти успехи не осмысливались диалектически, что постепенно привело к господству механистического мировоззрения в науке. Отсюда неизбежно следовал и метафизический характер атомистики эпохи господства механицизма, основные представления которой (атомистики) по сути дела мало отличаются от представлений Демокрита. Здесь мы находим снова корпускулы, лишенные каких-либо возможностей превращения и наделенные извечным механическим движением. Здесь господствовал и механический детерминизм, крайнюю формулировку которого дал Лаплас.

Наиболее важным, что отличало атомизм этого времени от атомизма Демокрита, было стремление ввести определенные взаимодействия между атомами вместо тех столкновений и вихрей, которые привлекал Демокрит для объяснения всех превращений вещества (у Демокрита они осуществлялись в процессе простого перемешивания бесконечного числа атомов различной величины и формы). Наличие этих сил взаимодействия и, как следствие последних, сил сцепления частиц позволило еще Декарту, а впоследствии Ломоносову, поставить вопрос о природе переходов вещества из одного агрегатного состояния в другое.

Эти же представления о сцеплении частиц использовал Бойль, сумевший найти правильный подход к научному определению химического элемента (как определенной ступени в процессе разложения вещества на составные части) и к обоснованию новой науки — химии.

Однако вследствие скудости фактических данных сколько-нибудь последовательное развитие представлений

о взаимодействии частиц материи оказалось невозможным не только на этом этапе, но и в более поздний период. Характер возникающих затруднений лучше всего иллюстрируется борьбой, которая в XVII и XVIII вв. шла между двумя основными течениями в механистическом мировоззрении — речь идет о картезианстве и ньютонианстве.

Декарт, впервые поставивший задачу построения научно обоснованной, чисто механической картины мира, исходил из того, что протяженность есть единственный признак материальности, а механическое перемещение и близкодействие — единственный вид движения и единственный способ его передачи. С этой точки зрения основным видом взаимодействия считался упругий удар двух тел. При переходе к макроскопическим свойствам вещества причиной всех видимых изменений оказалось давление как результат большого числа непрерывных соударений мельчайших частиц материи.

Для объяснения процесса взаимодействия и передачи движения между различными телами Декарт пользовался гипотезой о существовании эфира, состоящего из мельчайших частиц, которые находятся в вихреобразном движении и заполняют все пространство между телами. На протяжении нескольких веков вопрос об эфире как среде, осуществляющей передачу взаимодействия между телами (впоследствии об эфире — носителе электромагнитного поля, противопоставляемом «весомым» телам), играет фундаментальную роль в физике. Применяя те же представления о кинетическом близкодействии и к световым явлениям, Декарт приходит к полному отрицанию пустого пространства. Однако, несмотря на всю ее привлекательность, эта концепция при попытках объяснения таких своеобразных физических явлений (качественно отличных от механических), как, например, электричество и магнетизм, первые научные исследования которых относятся еще к началу XVII в., оказалась непреодолимо трудной.

Отсутствие каких-либо фактических данных относительно существования и свойств эфира заставило Ньютона в противоположность Декарту отказаться от анализа процесса взаимодействия материальных объектов и от обсуждения конкретных моделей эфира. Свою позицию в этом вопросе Ньютон резюмировал словами: «Я не знаю, что такое этот эфир» [1]. Открыв закон всемирного тяготения,

[1] Ньютон. Оптика. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Ньютон смог решать задачи о движении материальных тел, представляя эти тела просто как силовые центры и полностью отвлекаясь от природы сил тяготения.

Последователями Ньютона эти представления были доведены до крайности. Допуская возможность любых дальнодействий между материальными телами и частицами, последователи Ньютона объявили тяготение некоторой простейшей причиной внематериального характера и обрушились на сторонников Декарта именно за попытку объяснить процесс передачи взаимодействий механическим движением материальных частиц. Так, например, комментатор трудов Ньютона, идеалист Котс писал о картезианцах: «Их надо причислить к отребью нечестивого стада, которое думает, что мир управляется роком, а не провидением, и что материя, в силу своей собственной необходимости, всегда и везде существовала, что она бесконечна и вечна» [1].

Успехи в применении механики Ньютона к разнообразным явлениям привели к тому, что ее представления были канонизированы. В частности, силу начали рассматривать как нечто внешнее по отношению к материи, а источник движения искали вне материального мира. Не все ученые того времени придерживались этих взглядов. М. В. Ломоносов занимал в то время материалистическую позицию. В ряде трудов периода 1740—1760 гг. («Размышления о причине теплоты и холода», «Опыт теории упругой силы воздуха», «Пролегомены к натуральной философии» и др.) Ломоносов, последовательно придерживаясь корпускулярной концепции, ставил своей задачей объяснить все явления природы из движения и взаимодействия мельчайших, порознь не доступных непосредственному наблюдению частиц материи. Атомистические представления Ломоносова принимают характер развернутой научной гипотезы, в которой на основании ограниченного числа исходных предпосылок развивается как качественная, так иногда и количественная единая картина молекулярных физических и химических явлений.

К числу наиболее существенных предпосылок своего учения М. В. Ломоносов относит положения о неразрывной связи материи и движения, о протяженности атомов как одном из неотъемлемых признаков их материальности и, наконец, об отсутствии пустого пространства.

---

[1] Котс. Предисловие к II изд. «Начал» Ньютона.

Новый этап в развитии атомизма связан с успехами в развитии химии (с работами Авогадро, Дальтона, Берцелиуса, Клаузиуса). Триумфом развития химической науки явилось открытие периодического закона Д. И. Менделеевым. Утверждение основных законов химии особенно периодического закона, с одной стороны, благоприятствовало широкому признанию атомизма как гипотезы, способной указать правильный путь к пониманию химических явлений, а с другой стороны, привело к представлению о двух важных количественных характеристиках свойств атомов — химическом сродстве (валентности) и атомном весе. Атомный вес всегда являлся основой для количественного химического анализа, однако долгое время считали, что он не связан с химическими свойствами атомов. Валентность же, хотя и представляла численную характеристику для атомов данного типа, не могла быть основным признаком при строгой научной классификации атомов, ибо в различных соединениях она не оставалась постоянной. Поэтому в то время не подозревали о существовании какой-либо связи между свойствами различных элементов. Только после того, как Менделеев сформулировал периодический закон (устанавливающий периодическую зависимость химических свойств от атомного веса), положение радикально изменилось.

Раскрытие периодических закономерностей в совокупности элементов впервые позволило показать существование связей между химическими свойствами известных в то время элементов и на этой основе предсказать существование и свойства ряда ранее не известных элементов.

Д. И. Менделеев указывал на возможность делимости атомов и взаимного превращения различных атомов друг в друга: «...мне лично как участнику в открытии закона периодичности химических элементов было бы весьма интересно присутствовать при установке данных для доказательства превращения элементов друг в друга потому, что я тогда мог бы надеяться на то, что причина периодической законности будет открыта и понята» [1]. Менделеев говорил также о невозможности сведе́ния химических явлений к чисто механическому движению и о необходимости изучать явления в межатомной среде («эфире»), если мы хотим понять процессы взаимодействия между атомами.

---

[1] Д. И. Менделеев. Избранные сочинения, т. II, 1934, стр. 440.

Открытие закономерности в химических свойствах атомов завершило многовековый этап развития атомистических представлений и подготовило наступление нового этапа, создав почву для изучения структуры атомов, определяющей их качественные различия и взаимные превращения.

УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ И РАЗВИТИЕ АТОМИЗМА

Особенно важное место в развитии атомизма занимает учение о теплоте.

В ходе развития естествознания в учении о теплоте возникли две глубоко различающихся между собой тенденции. Первая была представлена забытой ныне теорией теплорода. Вторая тенденция привела к современной кинетической теории тепла.

Теория теплорода для объяснения явлений, связанных с теплотой, выдвигала предположение о существовании особой невесомой теплотворной материи — теплорода (ее весомость безуспешно пытались проверить экспериментально — взвешиванием нагретых тел). Эта теория, как показало дальнейшее развитие экспериментальных знаний, оказалась неправильной. Однако и после того как основное для теории теплорода представление о теплотворной материи было отброшено, опытные данные и важные закономерности, открытые в период господства теории теплорода, не погибли, а ее терминология («теплоемкость» и т. п.) используется и поныне.

В «Диалектике природы» Энгельс замечает, что ошибочная теория теплорода «...была навязана физикам не какой-нибудь злокозненной философией, а придумана ими самими при помощи их собственного натуралистического способа мышления...» [1].

Открытие превращения теплоты в механическое движение, создание паровой машины, вместе с известным с древности превращением механического движения в теплоту, показало, что и теплота является формой движения и что разные формы движения способны превращаться одна в другую.

При изучении теплоты как формы движения материи наука пошла по пути, намеченному еще Ф. Бэконом и

---

[1] Ф. Энгельс. Диалектика природы. М., 1950, стр. 82.

Декартом. В работах Джоуля, Клаузиуса, Максвелла, Больцмана были развиты основные положения кинетической теории материи. Было установлено, что для описания состояния газа необходимо пользоваться статистическими величинами, характеризующими движение совокупности огромного числа молекул, и были вскрыты закономерности, связывающие состояние газа с этими статистическими величинами. Работами Максвелла, Больцмана, Гиббса и других ученых была развита особая глава физики, изучающая такие закономерности — статистическая физика, исследующая и объясняющая на той же основе многие свойства не только газов, но и конденсированных сред.

Особую роль приобрело изучение флуктуаций — отклонений от статистически наиболее вероятных состояний. Строго научное количественное развитие старых идей о тепловом движении частиц, образующих тела, и создание стройной математической теории (кинетической теории газов и тепла во второй половине XIX в.) представляет собой важнейший этап в становлении современной науки о строении вещества. Принципиальное значение этого этапа состоит в том, что с ним в науку о веществе была привнесена статистическая концепция. Статистические закономерности получили строгое математическое выражение и приобрели значение фундаментальных закономерностей природы.

Особо следует подчеркнуть здесь значение трудов Л. Больцмана.

Основная идея Больцмана была выражена в утверждении, что макроскопические тела с наибольшей вероятностью находятся в состоянии, которое может быть получено путем различных комбинаций состояний отдельных образующих тело частиц наибольшим числом способов. Отсюда возникает связь между статистическим понятием вероятности состояния и термодинамическим понятием энтропии, служащей мерой упорядоченности движения и позволяющей судить о близости тела к состоянию равновесия.

Раскрытие этой связи явилось одним из крупнейших достижений кинетической теории материи, так как привело к возможности статистического и тем самым атомистического понимания так называемого второго начала термодинамики, закона, устанавливающего, в каком направлении изменяется состояние тел. предоставленных самим себе. В частности, эта идея позволила Больцману выдви-

нуть так называемую «флуктуационную гипотезу», сыгравшую большую роль в борьбе с идеалистическим представлением о «создании» Вселенной в некоторый момент времени и о ее неизбежной «тепловой смерти». Борясь с агностическими тенденциями некоторых физиков, стремившихся ограничиваться феноменологическим описанием фактов при помощи дифференциальных уравнений и заранее отказывавшихся от раскрытия атомного механизма явлений, Больцман постоянно указывал на невозможность отбросить атомистические представления, на их первенствующую и прогрессивную роль.

Анализируя уравнение теплопроводности, Больцман показал, что непрерывный образ, связанный с таким уравнением, возникает лишь в предельном переходе от атомистической дискретной реальной структуры к сплошной среде; поэтому Больцман считал, что те, кто думает избавиться от атомистики при помощи дифференциальных уравнений, не видят существа дела.

Больцман писал: «Если не предаваться иллюзии относительно значения дифференциального уравнения или вообще непрерывно протяженной величины, то нельзя сомневаться в том, что эта картина мира должна быть по существу атомистической» [1].

Статистическая физика объяснила законы термодинамики, учения о теплоте, показала пределы их применимости и предсказала отклонения от них (флуктуации) на основе статистических закономерностей. Установление статистических закономерностей в принципе позволяет найти для каждой конкретной задачи средние значения макроскопических величин, таких, как давление, температура и т. п., характеризующих рассматриваемое тело или систему тел. Поэтому статистическая физика представляет собой теорию, использующую статистические соотношения для определения термодинамических величин на основе законов механического движения частиц, образующих тело.

Новые стороны статистической физики дали возможность вскрыть природу ряда явлений, непонятных и не могущих быть понятыми с точки зрения представлений о веществе как о непрерывной, сплошной среде. Это привело

---

[1] Л. Больцман. Очерки методологии физики. М., Изд-во Гос. Тимиряз. ин-та, 1929, стр. 106.

к полной победе кинетических воззрений на теплоту, к победе кинетической теории материи и атомистической концепции материи по существу еще до того, как усовершенствование экспериментальных методов позволило изучать отдельные атомы и их взаимодействия.

ЭФИР И ПОЛЕ В УЧЕНИИ О ПРИРОДЕ СВЕТА И СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

В течение многих веков в проблеме строения материи одним из центральных был вопрос об эфире. С признанием или отрицанием эфира тесно связывался вопрос о природе света. В то время как последователи Декарта, в том числе Гюйгенс, считали свет неким волновым движением, распространяющимся в эфире. Ньютон, бывший, как упоминалось выше, противником гипотезы эфира, считал, что свет излучается в виде частиц, корпускул, распространяющихся по прямым линиям в пространстве.

Успехи ньютоновской механики и накопление экспериментального материала по геометрической оптике (при скудости опытных данных, отражающих волновые свойства света) привели в XVIII в. к преобладанию корпускулярной концепции света. В числе немногих сторонников волновой теории в то время были Ломоносов и Эйлер. В этом вопросе они шли против течения. Ньютонианский дух все больше проникал в физику, а вместе с ним развивалось и укреплялось представление о дальнодействующих силах. Лишь в XIX в., когда Юнг и Френель создали научные основы волновой теории света, а Фарадей открыл электромагнитную индукцию, поколебалась почти всеобщая уверенность в правильности представлений о том, что тела обладают некоторой изначальной способностью непосредственно действовать на расстоянии. Фарадей решительно отказался от концепции действия на расстоянии и высказал мысль, что решающую роль в явлениях взаимодействия играет промежуточная среда. В частности, он видел промежуточную среду и там, где последователи Ньютона не видели ничего, кроме пустого пространства. Исследования электромагнитной индукции позволили Фарадею с полной отчетливостью представить процесс передачи состояния электрической поляризации от одной точки среды (диэлектрика) к другой. Фарадей решительно

отстаивал представление о близкодействии, согласно которому всякое взаимодействие распространяется не мгновенно, а постепенно — от точки к точке.

Согласно этой концепции, которая составляет основу современной теории электромагнитного поля, наэлектризованное тело создает в окружающем пространстве особое состояние среды, благодаря чему действие этого тела передается на другие тела. Однако Фарадей, находясь еще под влиянием представлений о том, что в основе всякого физического явления лежат механические воздействия и движения, считал наэлектризованное тело источником как бы упругих нитей, «линий сил», которые пронизывают окружающий эфир и своим натяжением и давлением обусловливают передачу взаимодействия от тела к телу. Таким образом, в отличие от учения о действии на расстоянии Фарадей переносит центр тяжести физического исследования на окружающую среду. Согласно его взглядам, эфир, заполняющий все пространство, является носителем электрического и магнитного поля, а также средой, в которой распространяется свет.

Несмотря на ясную нам теперь упрощенность этой концепции, несмотря на ошибочность сведе́ния электромагнитных явлений к механическим, цельное и стройное мировоззрение о единстве и взаимосвязанности всех сил природы помогло Фарадею добиться замечательных открытий, которые навсегда обессмертили его имя.

Созданное Фарадеем, в противовес теориям дальнодействия, учение о близкодействии полностью оправдало себя: оно оказалось верным средством на пути многочисленных открытий. Однако в то время как экспериментальные открытия Фарадея немедленно находили всеобщее признание, его мировоззрение в сущности отвергалось современниками. Понадобилось еще теоретическое обобщение, осуществленное Максвеллом, создавшим строгую количественную теорию электромагнитных явлений, чтобы окончательно утвердились новые, «полевые» представления о способе передачи электрических и магнитных взаимодействий.

Электромагнитная теория Максвелла, будучи общим учением об электромагнетизме, рассматривает с единой точки зрения обширный круг явлений, изучавшихся прежде в отдельности. Известные уравнения Максвелла отражают связь между различными величинами, характеризую-

щими состояние электромагнитного поля. При выводе этих уравнений Максвелл опирался на представления Фарадея о том, что в природе имеет место близкодействие, что возмущение электромагнитного поля передается от каждой точки среды к соседним. Из своих уравнений Максвелл заключил, что электромагнитное возмущение должно распространяться в пространстве в виде электромагнитной волны с определенной скоростью, которая оказалась в точности равной скорости распространения света; естественным выводом Максвелла было то, что свет представляет собой одной из многих электромагнитных явлений. В концепции Ньютона свет тоже распространялся с конечной скоростью — со скоростью корпускул, поток которых Ньютон отождествлял со светом. Однако гравитационное взаимодействие, а для последователей Ньютона в XIX в. также и электрическое и магнитное взаимодействия, считалось осуществляющимся мгновенно. С того момента, как было установлено, что свет есть разновидность электромагнитного возмущения, и выводы теории Максвелла были подтверждены, стало ясно, что и для электрических и магнитных взаимодействий представления о действии на расстоянии неверны.

В развитии теории распространения взаимодействий значительное место принадлежит трудам Н. А. Умова, который выдвинул общую идею о потоке энергии, устанавливающемся при передаче всякого взаимодействия через тела или через «эфир».

Вместе с тем успех теории Фарадея — Максвелла укрепил веру в существование эфира. Вслед за Фарадеем Максвелл и другие физики того времени представляли себе эфир как непрерывную среду, обладающую свойствами обычной механической среды — плотностью, массой, упругостью и т. д. В течение многих лет делались всевозможные попытки построить механическую схему такой среды (эфира). Однако все эти попытки одна за другой терпели полное поражение. Так, например, для объяснения того факта, что свет распространяется в виде поперечных колебаний, необходимо было допустить, что эфир является твердым телом, так как механические поперечные колебания могут распространяться лишь в твердых телах. С другой стороны, это допущение невозможно совместить с тем фактом, что все планеты свободно проходят сквозь мировой эфир, не испытывая с его стороны никакого сопротивления. Пыта-

ясь обойти многочисленные трудности, строили разнообразные модели эфира, создавали остроумные гипотезы. Эфир все более терял свойства, которыми обладает обычная среда. Появились работы, в которых эфир рассматривался уже не как непрерывная среда, а как механизм с системой колес, зубчатых передач и т. д. Все это делалось для того, чтобы объяснить электромагнитные явления при помощи более простых механических явлений. Однако в то время как учение об эфире по сравнению с учением о невесомых субстанциях являлось для своего времени более прогрессивным и давало надежду объяснить природу электромагнитных взаимодействий, упомянутая тенденция построить механическую модель эфира была принципиально ошибочной. Развитие науки впоследствии показало, что сами упругие свойства тел вызваны электрическим взаимодействием частиц, из которых образовано тело, и поэтому обратное сведе́ние электромагнитных явлений к механическим не могло иметь успеха.

Бесплодность попыток создать механическую модель эфира все более и более толкала физиков к выводу, что та среда, которую принято было называть эфиром, вполне характеризуется своими электромагнитными свойствами и что не следует предполагать у нее сверх того упругих свойств. Такой «эфир» представляется в виде особой среды, служащей носителем электромагнитных полей. Вместе с тем эту среду и ее элементы еще можно было считать имеющими определенное местоположение и способность передвигаться независимо от электромагнитного поля.

Развитие теории оптических и электромагнитных явлений в движущихся телах поставило вопрос о том, каким образом эфир взаимодействует с движущимися телами, увлекается ли он движущимся телом или свободно проходит сквозь него или же увлекается только частично. Для каждой из этих возможностей теория предсказывала существование определенного круга явлений, которые можно было бы обнаружить экспериментально. Такие опыты были поставлены (решающую роль здесь сыграл известный опыт Майкельсона), и оказалось, что объяснить всю совокупность экспериментальных фактов невозможно, если стать на точку зрения какой-либо одной гипотезы, вне зависимости от того, какова она, т. е. будем ли мы считать эфир абсолютно покоящимся либо увлекающимся (полностью или частично).

Из этих опытов вытекало, что эфир нельзя представлять себе как определенную среду, движение которой относительно различных тел (являющихся источниками электромагнитных процессов в эфире) происходит так же, как механическое движение любых материальных тел. Раньше полагали, что эфиру нельзя приписать каких-либо динамических, или упругих, свойств, теперь же оказалось, что даже чисто кинематические механические понятия (перемещение, скорость и т. п.) не применимы к этой гипотетической среде. Таким образом, учение об эфире, бывшее в свое время передовым, прогрессивным учением, к началу XX в. оказалось в безнадежном тупике. Единственным выходом из этого тупика был отказ от эфира как особой материальной среды, отличной от электромагнитного поля и являющейся его носителем, и признание самого электромагнитного поля особой формой материи, не нуждающейся в каком-либо носителе. Так утвердилась точка зрения современной физики, согласно которой электромагнитное поле не есть состояние некоторой среды, а представляет собой одну из форм материи, качественно отличную от вещества и не сводимую к нему. Как мы видим, эти представления имеют точки соприкосновения с теорией истечения Ньютона, но к ней отнюдь не сводятся.

Электромагнитное поле отличается от обычного вещества многими свойствами, но вместе с тем обладает свойствами, которые присущи именно веществу. Так, электромагнитное поле может производить давление (этот факт экспериментально установлен П. Н. Лебедевым), обладает массой и т. п. Одним из замечательных свойств электромагнитного поля, иллюстрирующим всеобщую связь различных форм материи, является открытая в 30-х годах нашего столетия способность поля превращаться в обычное вещество (так называемое явление образования электронных пар, или открытое в 50-х годах явление образования протонных, мезонных и других пар) и обратный процесс — превращение материи из формы вещества в форму электромагнитного поля (так называемое явление аннигиляции пар).

Связь между обеими формами материи по мере развития науки обнаруживалась со все большей ясностью. Некогда поле как звено во взаимодействии между частицами считалось непрерывным и в этом смысле противопоставлялось дискретным частицам вещества. Это противопоставле-

ние находило обоснование в том, что частицы классической физики считались неизменными, а число их оставалось постоянным. Однако развитие науки привело в начале XX в. к открытию новых, так называемых квантовых свойств поля, особенно ярко выражающихся в том, что протяженное поле электромагнитных колебаний может быть разложено на элементарные поля, каждое из которых тоже протяженно, существует независимо от других элементарных полей и дискретно излучается и поглощается атомами. Эти порции электромагнитного поля (фотоны, или кванты поля) в известном смысле подобны дискретным частицам.

С другой стороны, выяснилось, что частицы вещества наряду с корпускулярными свойствами имеют также волновые свойства, носителем которых считалось ранее только непрерывное поле (см. стр. 37). Эти факты с неопровержимостью доказали относительность деления материи на дискретное вещество и непрерывное электромагнитное поле. Дело не только в том, что эти две формы материи оказались связанными между собой и способными переходить при некоторых условиях друг в друга. Наряду с электронами, позитронами и фотонами были открыты также и другие формы материи, обладающие как корпускулярными свойствами частиц, так и волновыми свойствами поля и способные к взаимопревращениям. Как будет подробнее сказано ниже, любые частицы в действительности являются квантами своего поля (электронно-позитронного, мезонного и т. п.), обусловливающего взаимодействия между источниками этого поля совершенно так же, как кванты электромагнитного поля (фотоны) обусловливают взаимодействие между электрическими зарядами.

Электромагнитное и гравитационное поля были лишь исторически первыми из такого рода полей, изученных наукой. Они отличаются от других полей только тем, что их кванты не имеют массы покоя (как не имеют ее и кванты нейтринного поля, см. стр. 62). Это обусловливает некоторое их своеобразие. Однако в рамках представлений современной науки указанное отличие не столь значительно, чтобы «вещество» и «поле» следовало считать совершенно разными формами материи.

Далее, согласно современным представлениям, нет пространства, вовсе лишенного материи. То, что в ньютонианской физике считалось «пустотой», в действительности яв-

ляется сложной совокупностью наинизших возможных («нулевых») состояний различных квантовых полей, т. е. таких состояний, из которых уже нельзя «забрать» ни одного кванта данного поля. Несмотря на то, что извлечь из них кванты невозможно, эти поля все же обнаруживаются благодаря флуктуациям (случайным колебаниям) их физических характеристик. Одним из проявлений «нулевого» поля можно считать явление электрической поляризации вакуума, которое обнаруживается по весьма тонким измерениям сдвига спектральных линий.

Флуктуации равномерно распределены в пространстве и во времени. Поэтому нулевое поле однородно и не может служить само по себе телом отсчета, т. е. объектом, по отношению к которому обнаруживается какое-либо механическое движение.

Вопреки представлениям о веществе и поле, вокруг которых развивалась борьба в течение долгого времени, оказалось, что деление материи на вещество и на поле, осуществляющее взаимодействие между частицами вещества, относительно, как и само противопоставление непрерывного дискретному.

И поле и вещество обладают чертами как дискретности, так и непрерывности. Каждая из форм материи может служить полем по отношению к некоторой другой форме материи. Нетрудно видеть, что современная физика обнаружила полную несостоятельность как идеалистических представлений о силах, действующих на расстоянии сквозь пустое пространство, так и метафизических представлений о механическом эфире — носителе взаимодействий между телами.

КРИЗИС В ФИЗИКЕ НА РУБЕЖЕ XX в.

К концу XIX в. атомизм вещества и полевая природа взаимодействия не только были доказаны научно, но и превратились в основные положения, на которые опирались вся физика и химия. Эти положения были в высокой степени разработаны теоретически в кинетической теории материи и в электродинамике. Выдающиеся успехи науки, как это часто бывало в ее истории (например, в XVIII в. в эпоху расцвета механики Ньютона), привели к фетишизации ее методов и достижений. Даже крупнейшие исследователи того времени, трудами которых в значительной

мере были достигнуты эти успехи, приходили к убеждению, что создание науки о веществе почти завершено. Величественное здание физики, по их мнению, требовало только небольших, почти несущественных доделок. Некоторые затруднения физики того времени казались несущественными.

Между тем отдельные затруднения, такие, как неспособность обнаружить движение относительно эфира (опыт Майкельсона) или неумение распространить статистическую термодинамику на процессы взаимодействия излучения с веществом, впоследствии оказались решающими. Но в то время мало кто был обеспокоен ими всерьез. Считали, что они будут очень скоро преодолены в результате небольших усилий исследователей. Казалось бы, на долю последующих поколений ученых оставалась лишь разработка приложений уже известных основ науки.

Этот взгляд на процесс познания по существу своему соответствовал механистическому, метафизическому мировоззрению, укрепившемуся в умах физиков со времен XVIII в.— века триумфа механики Ньютона в науке и метафизического материализма в философии. Подобный неправильный взгляд на процесс познания природы резко противоречил воззрениям диалектического материализма, остававшегося совершенно неизвестным естествоиспытателям того времени, и был опровергнут историей науки уже в ближайшие десятилетия, когда создание теории относительности и квантовой механики радикально расширило понимание основных закономерностей природы, сохранив в то же время все подлинные завоевания науки XIX в. (хотя многие из них и получили при этом совершенно новое освещение).

Неправильные взгляды на развитие науки сохранились несмотря на то, что уже к концу XIX в. физика нанесла механицизму тяжелые удары. Во-первых, физика по существу была вынуждена отказаться от трактовки электромагнитного поля как особого упругого состояния механического эфира и от приписывания эфиру таких «неотъемлемых» свойств, как упругость, плотность и т. п. Во-вторых, развитие кинетической теории вскрыло роль статистических закономерностей в природе и указало на возможность отхода от механического детерминизма. Однако ученые продолжали считать, что эфир обладает такими механическими атрибутами, как определенное местонахождение и

скорость движения. а статистическую закономерность рассматривали только как приближенное выражение механической детерминированности, как результат неполного значения явлений во всех его деталях.

Из этой общей позиции возникало и стремление сводить все явления к механическому движению. Правда, некоторые крупные физики пытались преодолеть эту ограниченность. Так, Больцман писал: «Возможность механического объяснения всей природы не доказана, полное достижение этой цели едва ли мыслимо» [1]. Однако подобные высказывания Больцмана и некоторых других естествоиспытателей были лишь отдельными попытками.

В конце XIX в. развитие физики вступило в серьезные противоречия с традиционным мировоззрением того времени. Эти противоречия нарастали постепенно, пока в конце XIX и начале XX в. не были сделаны фундаментальные открытия, окончательно подорвавшие основы механицизма.

В 1896 г. была открыта радиоактивность, причем выяснилось, что процесс радиоактивного распада не связан с внешними воздействиями и происходит по законам статистики. Для всех атомов данного типа вероятность распада за единицу времени есть постоянная величина, откуда следует совершенно определенный (экспоненциальный) закон распада большой совокупности атомов со временем.

В конце XIX и в начале XX в. совокупностью опытов было установлено существование электрона, т. е. составной части атома. Атом оказался делимым. Далее, была установлена зависимость массы электрона от его скорости, наличие у электрона массы электромагнитного происхождения. Электромагнитный характер массы электрона и зависимость массы от скорости противоречили механике Ньютона и связанному с ней представлению о механической массе как неизменно сохраняющемся, абсолютном атрибуте материи.

Расшатывание основных положений физики разрушило убеждение в завершенности, казалось бы, столь стройного здания науки. Оно вызывало неверие в ценность знания, в прочность достижений науки. Возникло стремление приписывать познанию лишь условную, относительную ценность, усилился философский релятивизм. Расширился и

---

[1] Л. Больцман. Очерки методологии физики. М., 1929, стр. 91.

круг тех, кто, подобно Маху, Авенариусу, Пуанкаре и другим, отрицал за наукой и познанием роль правильного и точного отражения закономерностей природы, кто считал, что закономерности не существуют в природе, а создаются человеком для удобства познания, а также тех, кто вообще считал задачей познания установление закономерных соотношений лишь между ощущениями человека.

Такого рода антинаучные воззрения представляют собой разновидности идеализма (особенно субъективного идеализма) и агностицизма. Создавшуюся ситуацию в физике, когда новые открытия не укладывались в рамки старых представлений, что привело к философским блужданиям и распространению идеализма, В. И. Ленин называл кризисом в физике.

В этот период появилась книга В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», в которой на основе диалектического материализма был дан глубокий философский анализ положения, создавшегося в физике в результате замечательных достижений конца XIX и начала XX в., и было вскрыто подлинное значение совершавшейся в физике революции.

Как известно, В. И. Ленин указывает на две причины появления «физического» идеализма. Первая причина связана с возросшей ролью математических методов в физических исследованиях. «Крупный успех естествознания, приближение к таким однородным и простым элементам материи, законы движения которых допускают математическую обработку, порождает забвение материи *математиками*. „Материя исчезает", остаются одни уравнения. На новой стадии и, якобы, по-новому получается старая кантинианская идея: разум предписывает законы природе» [1].

«Другая причина, породившия „физический" идеализм, это принцип *релятивизма*, относительности нашего знания, принцип, который с особенной силой навязывается физикам в период крутой ломки старых теорий и который при незнании диалектики неминуемо ведет к идеализму» [2].

Далеко не все физики склонились к идеализму. Однако ученые, которые пытались подойти материалистически к новейшим открытиям в физике, как правило, не владели диалектическим методом, и это ослабляло их позиции.

---

[1] В. И. Ленин. Материализм и эмпириокритицизм. Сочинения, т. 14. М., 1953, стр. 294.

[2] Там же, стр. 295.

Единственным, кто во всеоружии защитил основы материализма в этот период, был В. И. Ленин.

Из сведе́ния массы электрона к электромагнитной массе многие идеалисты пытались сделать вывод, что «материя исчезла» и на этой основе говорили о «крахе материализма». Однако, как разъяснял Ленин, материя вовсе не исчезает, «исчезает тот предел, до которого мы знали материю до сих пор, наше знание идет глубже; исчезают такие свойства материи, которые казались раньше абсолютными, неизменными, первоначальными (непроницаемость, инерция, масса и т. д.) и которые теперь обнаруживаются как относительные, присущие только некоторым состояниям материи» [1].

Ленин писал: «... диалектический материализм настаивает на приблизительном, относительном характере всякого научного положения о строении материи и свойствах ее, на отсутствии абсолютных граней в природе, на превращении движущейся материи из одного состояния в другое, по-видимому, с нашей точки зрения, непримиримое с ним и т. д. Как ни диковинно с точки зрения „здравого смысла“... отсутствие у электрона всякой иной массы, кроме электромагнитной, как ни необычно ограничение механических законов одной только областью явлений природы и подчинение их более глубоким законам электромагнитных явлений и т. д., все это только лишнее *подтверждение* диалектического материализма» [2].

В связи с этим чрезвычайно важным было уточнение философского понятия материи:

«Понятие материи,— пишет В. И. Ленин,— не означает гносеологически *ничего иного,* кроме как: объективная реальность, существующая независимо от человеческого сознания и отображаемая им» [3].

«...Единственное «свойство» материи, с признанием которого связан философский материализм, есть свойство *быть объективной реальностью,* существовать вне нашего сознания» [4].

Развитое в первой половине XX в. представление об электормагнитном поле как форме существования материи

---

[1] Там же, стр. 247.
[2] Там же, стр. 248.
[3] Там же, стр. 248.
[4] Там же, стр. 247.

явилось по существу блестящим подтверждением диалектического материализма.

Электромагнитное поле проявляется самым разнообразным образом: оно оказывает механическое действие на электрические заряды, химически воздействует на фотопластинку, оказывает физиологические действия и т. д. Все эти проявления поля наблюдаются и изучаются человеком. Однако самое поле как таковое лишь в особых случаях непосредственно ощущается человеком: как действие света определенных длин волн на глаз, как действие достаточно большой разности потенциалов на нервные волокна и т. п. Между тем это не помешало установить существование электромагнитного поля и в деталях изучить его свойства.

В настоящее время вряд ли кто-нибудь может сомневаться в том, что электромагнитное поле было бы столь же полно изучено человеком, даже если бы оно не воспринималось нами непосредственно в исключительных случаях, перечисленных выше. Об этом уместно вспомнить в связи с тем, что позже, в период возникновения квантовой механики, физики-махисты утверждали, что невозможно познать закономерности микромира, так как он непосредственно неощущаем. Между тем принципиально здесь нет отличия от положения дел с электромагнитным полем, познаваемость которого неоспорима. Поэтому тезис о непознаваемости микромира столь же необоснован, как утверждение о непознаваемости электромагнитного поля. С другой стороны, реакционную борьбу механицистов конца XIX в. за чисто механический эфир против признания электромагнитного поля формой движения материи, не сводимой к механическому движению, можно сопоставить с борьбой современных механицистов против несводимости законов движения микромира к законам движения классической физики.

Полемизируя с учеными, которые в факте делимости атома, в обнаружении составной части атома (электрона) видели потрясение или даже крушение основ материализма, Ленин утверждал безграничность процесса познания, при котором раскрытие истины отнюдь не сводится к уточнениям, доделкам, «подчисткам» в уже созданном здании науки, а приводит снова и снова к фундаментальным открытиям, беспредельно расширяющим и углубляющим человеческое знание, диалектически раскрывающим абсолютную истину. Действительно, развитие физики в последние

десятилетия привело к еще более решительной ломке старых представлений классической физики, к созданию теории относительности и квантовой механики — нового раздела современной физики, изучающего атомные процессы и другие явления, связанные с движением мельчайших частиц материи. Только основные положения, сформулированные Лениным в «Материализме и эмпириокритицизме», дают возможность правильно понять и философски оценить достижения современной физики и отстоять их в борьбе против современного идеализма и механицизма.

ПЕРВЫЕ ПОПЫТКИ СОЗДАНИЯ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ МАТЕРИИ

Первые попытки создания квантовой теории материи относятся к началу XX века. Как уже упоминалось, к этому времени классическая физика, особенно такие ее разделы, как термодинамика и статистическая физика, электромагнитная теория света и электронная теория, достигли своего расцвета. Огромный круг самых разнообразных явлений природы получил объяснение с точки зрения представлений классической физики. Благодаря этим успехам у некоторых физиков создалось впечатление, что физическая наука пришла к завершающему этапу своего развития и все дальнейшее ее развитие будет сводиться лишь к правильному истолкованию вновь открываемых явлений на основе классической физики. Однако последующее развитие физического эксперимента выявило ограниченность основных положений классической теории.

Во-первых, многочисленные экспериментальные и теоретические исследования, которые проводились в конце XIX и в начале XX в. с электромагнитным излучением нагретых тел (излучение света и невидимых инфракрасных лучей, так называемое тепловое излучение), показали, что классическая физика не в состоянии объяснить наблюдаемый на опыте спектр излучения даже в простейшем случае так называемого абсолютно черного тела.

Стремление преодолеть это затруднение привело к созданию Планком в 1900 г. квантовой теории излучения черного тела. В 1905 г., на основе анализа экспериментальных закономерностей фотоэлектрического эффекта, Эйнштейн сформулировал гипотезу квантовой структуры электромагнитного поля

Во-вторых, обнаружилось явное неблагополучие в классической теории строения атома, которая была бессильна справиться с проблемой устойчивости атома и объяснить дискретный характер его спектра излучения и поглощения.

После установления Резерфордом ядерной модели атома распространение квантового принципа на движения электронов вокруг ядра позволило Бору в 1913 г. построить первую, правда непоследовательную, теорию простейшего атома водорода.

В-третьих, окончательно выяснилась неудача всех попыток обнаружить движение эфира или движение тел относительно эфира. Это привело к пересмотру устоявшихся представлений об абсолютном характере времени и пространства и к созданию Эйнштейном теории относительности (1905 г.).

Применение теоретических положений классической механики, статистической физики и электродинамики к рассмотрению теплового равновесия между излучением и нагретым телом приводило к парадоксальному выводу о том, что энергия, сосредоточенная в излучении, должна быть бесконечной, т. е. равновесие практически никогда не может установиться, что резко противоречит опыту.

Планк устранил это противоречие, выдвинув для объяснения спектра излучения абсолютно черного тела знаменитую гипотезу о квантовом характере процесса излучения. Согласно классической электродинамике и электронной теории, процесс испускания и поглощения излучения есть непрерывный процесс. В отличие от этого Планк предположил, что испускание и поглощение происходит только дискретными порциями, которые он назвал квантами энергии. Величина такого кванта энергии по гипотезе Планка связана с частотой излучения соотношением

$$E = h\nu,$$

где h — введенная Планком новая фундаментальная постоянная, равная $6{,}55 \cdot 10^{-27}$ *эрг · сек*, а ν — частота света.

Полученная Планком на основе этой гипотезы формула для спектра излучения абсолютно черного тела хорошо согласовалась с опытом. В настоящее время это соотношение является одной из основ современной физики.

Так впервые был нанесен серьезный удар по классическим представлениям и тем самым поставлена под со-

мнение их всеобщая применимость. Одновременно это явилось и первым крупным успехом гипотезы квантов. Развитие этой концепции, осуществленное Эйнштейном, состояло в утверждении, что излучение не только испускается и поглощается отдельными квантами, но и распространяется, сохраняя свою квантовую, дискретную структуру, т. е. что волновое поле излучения распадается на элементарные волновые поля, взаимодействующие независимо друг от друга с веществом. При помощи гипотезы квантов Эйнштейн разъяснил не только основные закономерности фотоэлектрического эффекта, но и другие явления, такие, как теплоемкость твердых тел, химическое действие света и пр. Еще позднее удалось объяснить результаты опытов А. Комптона (1923 г.) по рассеянию жесткого (т. е. весьма проникающего) рентгеновского (электромагнитного) излучения на практически свободных электронах вещества (так называемый комптон-эффект).

Однако, несмотря на эти успехи, теория квантов была непоследовательной, поскольку она произвольно использовала некоторое сочетание классических закономерностей с квантовыми. Она не смогла дать ответ на ряд принципиальных вопросов, поставленных развитием физики. В созданной потом последовательной теории представление о квантах электромагнитного поля оказалось не дополнительным элементом, накладывающимся на классические законы физики (которым она по существу противоречит), а органическим следствием из некоторых более фундаментальных положений.

Другой областью явлений, где новые экспериментальные открытия требовали решительного пересмотра классических представлений, была теория строения атома. Два важнейших обстоятельства послужили толчком к развитию квантовой теории атома.

Первое заключалось в том, что классическая электродинамика и электронная теория не могли объяснить устойчивости ядерной модели атома, которая с неизбежностью следовала из опытов Резерфорда по рассеянию α-частиц. Согласно такой модели, атом состоит из тяжелого ядра, в котором сосредоточена практически вся масса атома, и электронов, движущихся вокруг ядра на расстоянии порядка 10^{-8} *см.* Применение классической электродинамики к движению электронов в такой модели приводило к выводу о неустойчивости атома: электрон должен был бы, не-

прерывно излучая энергию, упасть на ядро. Этот вывод классической теории резко противоречил опытам, так как атомы в действительности весьма устойчивы.

Другое противоречие было связано с хорошо изученными дискретными спектрами излучения и поглощения атомов. Линейчатый характер их спектра указывал на то, что атом не может испускать (или поглощать) свет произвольной частоты. Это также в корне расходилось с выводами классической электродинамики, так как по этой теории частота излучения атома должна совпадать с частотой обращения электрона вокруг ядра и может быть совершенно произвольной. Эти противоречия привели Бора в 1913 г. к выводу, что при изучении свойств атома, и особенно таких его закономерностей, как спектральные, где дело идет о поглощении и излучении электромагнитных волн, необходимо принимать во внимание квантовую природу излучения.

Приняв за основу ядерную модель атома, согласно которой атом состоит из очень малого положительного заряженного ядра и окружающих его электронов, и предположив, что число электронов в атоме равно порядковому номеру последнего в периодической системе Менделеева, Бор в 1913 г. создал первую квантовую теорию строения атома водорода, основанную на следующих двух, совершенно не совместимых с классической физикой квантовых постулатах:

1. В каждом атоме существует ряд выделенных состояний движения электрона, так называемых стационарных состояний, в которых электрон может находиться не излучая (между тем, согласно классической физике, движение заряда по искривленной траектории неизбежно сопровождается излучением электромагнитных волн). Этот постулат непосредственно связан с результатами опытов Франка и Герца (1913 г.), которые установили, что при столкновениях электронов с атомами последние могут «воспринимать» лишь строго определенные «порции» энергии.

2. При переходе из одного стационарного состояния в другое атом излучает или поглощает конечную порцию энергии:

$$\Delta E = h\nu = E_1 - E_2,$$

где ν — частота излучаемого (или поглощаемого) света. Между тем, согласно классической физике, частота излу-

чения никак не связана с количеством излучаемой энергии.

Теория Бора, основанная на этих постулатах, хорошо объясняла дискретный спектр простейшего атома периодической системы Менделеева — атома водорода, содержащего всего один электрон. Она позволила упорядочить огромный эмпирический материал в области спектроскопии. В последующие годы при помощи той же теории удалось объяснить иные атомные явления, например расщепление спектральных линий атома в магнитном и электрическом полях (эффекты Зеемана и Штарка) и др.

Все эти успехи свидетельствовали о том, что боровские постулаты в какой-то мере правильно отражают ряд важных закономерностей движения микрочастиц. Однако теория Бора, так же как и теория Планка, по существу своему не могла претендовать на роль фундаментальной теории атомных явлений. В основе ее лежали полуэмпирические постулаты; при расчете атомных явлений она произвольно пользовалась как классическими, так и квантовыми представлениями. Ограниченность теории Бора стала особенно очевидной, когда она не смогла объяснить спектр другого, все еще довольно простого атома — атома гелия, содержащего два электрона. Основную же трудность для теории представляло объяснение соотношения интенсивностей различных линий в спектре излучения атома. Хотя при помощи дополнительного естественного постулата, так называемого принципа соответствия [1], Бору и удалось частично ответить на эти вопросы, все же проблема интенсивности излучения не могла быть решена в рамках боровской теории. Все это показало, что теория Бора не являлась в какой-либо степени последовательной теорией атомных процессов, а могла быть только переходным этапом от классических представлений к последовательной квантовой теории строения материи. С появлением последней отпала и всякая необходимость пользоваться при расчете атомных систем теорией Бора.

Квантовая теория излучения света атомами, на первый взгляд, отвечала и на вопрос о природе света.

---

[1] Сущность этого принципа заключалась в утверждении, что при больших квантовых числах, определяющих сильно возбужденные состояния атома по теории Бора, движение электрона в атоме должно в пределе происходить по законам классической механики.

Опыт Майкельсона (как и вся совокупность других экспериментов этого же круга) ясно указывал, что не существует эфира как среды, в которой мог бы распространяться свет и которая могла бы служить системой отсчета, для определения «истинного», «абсолютного» движения материальных тел в пространстве. Тем самым подтверждалось, что в природе не существует какой-либо особой, выделенной пространственной системы, за которой можно было бы признать роль «абсолютной» системы. Поэтому никакое тело в природе нельзя считать «истинно покоящимся» или «истинно движущимся». Понятия движения и покоя относительны, даже если о механическом движении или покое судить не только по механическим, но и по электромагнитным явлениям.

Кроме того, испускание света в виде порций энергии, излучаемых светящимся телом, казалось несовместимым с установленным опытом фактом постоянства скорости света и независимости этой скорости от скорости движения источника излучения. В то время, как при испускании обычных тел скорость источника складывается со скоростью тела (скорость пули, выпущенной пулеметом с движущегося самолета, больше при стрельбе вперед по движению, чем при стрельбе назад), свету от далекой звезды требуется для достижения Земли одно и то же время, независимо от того, движется ли эта звезда к солнечной системе, включающей Землю, или от нее.

Эйнштейн ясно сформулировал принципиальное значение этих опытных фактов (отсутствие абсолютной системы отсчета, относительность понятий покоя и движения, с одной стороны, и независимость скорости света от скорости источника — с другой) и показал, что они свидетельствуют о неточности наших повседневных представлений о пространстве и времени, которые без достаточного анализа переносились в физику. Взяв за основу эти опытные факты, Эйнштейн вскрыл действительные закономерности пространственно-временных соотношений, и вытекающие отсюда закономерности движения материи, в том числе и света, создав теорию относительности. Только в случае приближения скоростей движения к скорости света эти закономерности приводят к выводам, отличающимся от тех, которые дает классическая, как говорят теперь «дорелятивистская», физика. При малых же скоростях, которые и были реально доступны до XX в., клас-

сическая физика и должна была быть, с точки зрения теории относительности, достаточно правильной, верной с достаточной точностью.

Мы не можем здесь входить в более подробное изложение содержания теории относительности. Заметим только, что она возникла как весьма последовательная, математически разработанная ветвь физики, многочисленные предсказания которой при последующих применениях находили все большее подтверждение. В настоящее время она является краеугольным камнем современной физики. Следует отметить, что теория относительности привела ко многим выводам, кажущимся парадоксальными, резко противоречащими так называемому «здравому смыслу», т. е. комплексу представлений, выработанных предшествующим опытом человечества. Это и понятно, так как она появилась в результате расширения этого опыта, в результате обнаружения не известных ранее свойств материального мира.

В отличие от теории относительности ни теория Планка, ни теория Бора, как уже подчеркивалось, в сущности не являлись последовательными физическими теориями, хотя они в общем правильно отражали ряд отдельных закономерностей явлений микромира. Тем не менее эти теории, как и теория относительности, сыграли большую прогрессивную роль, так как нанесли серьезный удар по господствовавшему до их возникновения в физике убеждению о всеобщей применимости законов классической физики и показали неприложимость этих законов к явлениям, происходящим внутри атома, и вообще к явлениям микромира и к объектам, движущимся со скоростью, близкой к скорости света. Все это привело к глубокому, революционному перевороту в умах физиков, основательно поколебав метафизический способ мышления, и помогло расчистить почву для выработки у естествоиспытателей диалектического понимания процесса познания. С тех пор в науку проникло убеждение, что существующую в каждый данный период физическую теорию следует рассматривать как относительно, приближенно верную, как теорию, которая при последующем развитии науки существенно обогатится и изменится, сохранив в то же время свою ценность и значение правильной теории в той сфере, в которой она подтверждена опытными фактами. С тех пор каждый раз, когда вскрываются трудности существующей

теории, когда при дальнейшем углублении экспериментального изучения строения и свойств вещества обнаруживаются противоречия с теорией, физики заранее готовы к тому, что, быть может, придется радикально изменить те или иные устоявшиеся представления.

Развитие первых квантовых теорий, как и развитие всякой науки, происходило, естественно, не в отрыве от общественной жизни начала XX в., полной классовых противоречий.

Идеалистическая философия попыталась использовать новые достижения физической науки, утверждая, что открытие квантовых свойств физических объектов подтверждает идеализм. Основной упор при этом делался на неясные положения, имевшиеся в теории. Так, например, неспособность теории Бора ответить на вопрос о том, что происходит с электроном во время «перескока» с одной орбиты на другую, идеалисты использовали для абсурдных утверждений о «свободе воли» электрона. Как мы увидим из дальнейшего, одним из центральных пунктов, по которым пытались «опровергать» материализм, все время оставался вопрос о причинности в квантовых явлениях и о роли статистических закономерностей, характер которых был установлен лишь в середине 20-х годов нашего столетия.

Таким образом, вместо изучения новых объективных свойств, присущих электронам в атоме, идеалисты без всякого основания стали на путь отрицания объективных закономерностей в природе. Однако в дальнейшем развитии науки было установлено, что электрон обладает новыми свойствами, которые не могут быть объяснены в рамках классической физики. При этом отказ от категорий классической физики не означает, что движение электрона происходит вне времени и пространства и вообще не подчиняется каким-либо объективно существующим закономерностям. Сущность этих новых квантовых закономерностей движения микрочастиц была вскрыта современной квантовой теорией.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Создание трудами Бора, Гейзенберга, Шредингера, де-Бройля, Дирака и других (в 1926—1927 гг.) квантовой механики — строгой и последовательной теории атомных

процессов — явилось новым выдающимся успехом науки. Квантовая механика стала могучим средством изучения природы атомных процессов и овладения ими. Как отдельные главы этой единой науки возникли теория строения атома, теория излучения, теория строения молекул (квантовая химия), теория твердого тела, теория взаимодействия элементарных частиц, теория строения ядра и ядерных процессов, теория сверхпроводимости и т. д. Опыты неопровержимо показали, что в обширной области атомных процессов выводы квантовой механики правильно отражают закономерности объективной действительности. Во многих случаях самые неожиданные предсказания квантовой механики, например такие, как предвидение существования позитрона, получили полное подтверждение. Квантовая механика в современном ее виде есть стройная и последовательная теория явлений микромира, охватывающая большой круг физических процессов, в том числе и таких, которые принципиально не могут быть объяснены с точки зрения классической физики.

Квантовая механика представляет собой более широкую теорию, чем классическая механика и содержит классическую физику как частный случай.

Конечно, и современная квантовая механика не является пределом физического знания. Уже сейчас видно, что изучение новых явлений в области физики ядра и элементарных частиц должно привести к дальнейшему развитию теории и к еще более широким обобщениям.

Квантовая механика определила границы применимости классической механики, вскрыла новые свойства мельчайших частиц вещества, обнаружила ограниченную применимость или полную неприменимость в мире атомных явлений ряда основных понятий классической физики, которые с метафизических позиций воспринимались как «вечные» и «незыблемые», показала, что достижения классической физики были лишь ступенями в продвижении к абсолютной истине, относительно верными и правильно отражающими объективные закономерности далеко не всех физических явлений.

Корпускулярно-волновые свойства частиц. В 1925—1927 гг. было установлено, что электроны и другие частицы вещества обладают не известными ранее у них волновыми свойствами. Эти свойства обнаруживаются в явлении дифракции частиц. До этого открытия было известно,

что способностью дифрагировать обладают только свет, звук и другие волны. В соответствии с этим была создана теория дифракции волн.

С точки зрения классической механики в движении дискретных частиц, таких, как электрон, протон и др., дифракционные явления не должны иметь места. Однако оказалось, что не только электрон, но и нейтрон и молекула водорода (как было обнаружено на опыте позже), падая на кристалл, рассеиваются таким образом, что закономерность рассеяния частиц определяется закономерностями дифракционных явлений, в частности, взаимным расположением всех атомов кристалла. Это означает, что отдельная частица взаимодействует не с отдельным атомом решетки, а сразу с большой группой атомов, подобно тому, как взаимодействовала бы проходящая волна. В то же время это не означает какого-либо раздробления или размазывания частицы, так как после рассеяния, попав на какое-либо тело, способное ее удержать, например на фотографическую пластинку, эта частица обнаруживается целиком в каком-либо определенном месте, например вызывает почернение одного зерна фотоэмульсии.

Далее обнаруживается, что при многократном повторении этого процесса при заданных неизменных внешних условиях (достаточно определенные направление и энергия падающих частиц, тот же кристалл, такое же улавливающее устройство и т. п.) места попадания частиц образуют некоторое распределение, которое не хаотично, а подчиняется определенному статистическому закону: распределение точек попадания точно совпадает с распределением интенсивности некоторой волны при ее дифракции на том же кристалле. Более того, по распределению интенсивности длина этой волны может быть определена совершенно так же, как при спектральном анализе определяют длину волны света или рентгеновых лучей по их дифракции.

Опыт показывает, что эта длина волны λ однозначно связана с количеством движения (импульсом) частицы p (и следовательно с ее энергией). Между ними имеется следующее соотношение:

$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

Существование такой связи между количеством движения и длиной волны некоторого гипотетического волнового процесса было за несколько лет до описываемого откры-

тия предположено де-Бройлем, но в то время не встретило поддержки. В настоящее время эти волны называют волнами де-Бройля.

Интересно, что дифракция пучка частиц вовсе не обусловливается каким-либо взаимодействием частиц пучка между собой. Напротив, дифракция определяется только взаимодействием каждой отдельной частицы с решеткой в целом, в чем можно убедиться, меняя в весьма широких пределах интенсивность пучка: если бы играло роль какое-то взаимодействие частиц, то характер дифракционной картины должен был бы при этом изменяться, что в действительности не имеет места.

В этом замечательном физическом явлении выступают неизвестные классической физике новые, волновые, или квантовые, свойства частиц вещества. Отметим три важных обстоятельства, обнаруживающихся уже в одном этом фундаментальном процессе.

Во-первых, закономерность взаимодействия частицы (с определенной кинетической энергией) и другого тела (кристалла) представляет закономерность взаимодействия волны, распределенной в пространстве, с кристаллом. Это значит, что такая частица не может быть охарактеризована понятием строго определенного местоположения, а ее движение не может быть охарактеризовано определенной траекторией. Основное в классической механике понятие определенного положения, или координаты, частицы не соответствует в этом случае ее физическим свойствам. Вместо этого пространственная локализация частицы должна быть охарактеризована некоторым волновым полем. Более подробно об этом поле будет сказано ниже. Конечно, при любых условиях частица находится в ограниченной в той или иной мере части пространства. Более того, возможны такие состояния, при которых это ограничение столь значительно, что с большой точностью можно говорить об определенном положении частиц. Так, например, частицы, вызвавшие при своем попадании почернение на фотопластинке, находятся после этого, конечно, в пределах почерневшего зерна фотоэмульсии.

Во-вторых, этот опыт обнаруживает способности частиц интерферировать. В простейшем случае, когда частица находится в определенной, очень ограниченной области пространства, это означает, что распределение волнового поля может быть получено наложением (суперпозицией) мно-

гих волн, подобранных так, чтобы они гасили одна другую во всем пространстве, кроме этой области, образуя так называемый «волновой пакет». Такое взаимное гашение при образовании «пакета» волн возможно, как показывает обычная кинематическая теория всяких волн (радиоволн, упругих волн и пр.), только в том случае, если «в пакете» представлены волны с разной длиной волны λ. Размеры области Δx, в которой сосредоточен волновой «пакет» и вне которой волны гасят одна другую, определенным образом связаны с разбросом длин волн $\Delta\lambda$, которые необходимо взять, чтобы образовался пакет.

Так как длина волны связана с количеством движения частицы соотношением $\lambda = \frac{h}{p}$ то разбросу длин волн $\Delta\lambda$ соответствует разброс значений количества движения частицы Δp.

Итак, в состоянии с более или менее определенной локализацией частица не обладает строго определенной величиной количества движения. Соотношение между неопределенностью количества движения и неопределенностью локализации в пространстве может быть установлено из общей кинематической теории волновых процессов в сочетании с физическим законом, связывающим волновые свойства частицы с ее количеством движения согласно формуле $\lambda = \frac{h}{p}$. Отсюда вытекает так называемое соотношение неопределенностей Гейзенберга:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geqslant h,$$

т. е. произведение $\Delta x \cdot \Delta p$ больше или того же порядка, что и h. Следовательно, для состояний с менее ограниченной локализацией (Δx велико) менее неопределенно количество движения (Δp мало) и наоборот.

Таким образом, среди состояний движения частицы возможны такие, в которых частицу нельзя охарактеризовать классическим понятием строго определенного количества движения, а следовательно и скорости. Эти понятия классической механики, как мы видели, не соответствуют физическим свойствам частицы и характеру ее движения.

Наконец, третьей чертой опыта по дифракции частиц является особая, квантово-статистическая закономерность, характеризующая переходы между двумя, в известном смысле предельными состояниями частиц: одним, в кото-

ром частица находится на пути к кристаллу, когда ее длина волны (и, следовательно, количество движения) определенна, а положение в высокой степени неопределенно, и другим — после попадания на фотопластинку, когда положение становится определенным, но зато количество движения неопределенно и применять это классическое понятие можно только приближенно. Рассматриваемые здесь предельные состояния являются, конечно, абстракциями, необходимыми при теоретическом анализе. Статистический характер закономерности проявляется здесь в том, что интенсивность рассеяния волны в различных направлениях определяет собой *вероятность* локализации частицы при ее взаимодействии с другими объектами в соответствующих местах пространства.

Все эти три квантовые особенности в принципе верны и для любого макроскопического тела; однако в этом случае они выражены настолько слабо, что становятся незаметными, почему и не были обнаружены раньше. Для тел большой массы, даже при малых скоростях, количество движения сравнительно весьма велико, так что длина волны становится весьма малой по сравнению со всеми линейными размерами, характеризующими движение. В таком случае роль волновых свойств ничтожна, дифракционное размытие траектории весьма мало и статистические отклонения от средних значений динамических переменных исчезающе малы. В этих условиях классическая механика в высокой степени точна.

До сих пор мы говорили о частицах вещества. Однако с небольшими изменениями все сказанное справедливо и для частиц света и вообще электромагнитного излучения, например для рентгеновых лучей. При обычной их дифракции на дифракционной решетке или на кристалле имеют дело с потоком из огромного числа частиц (квантов) этого поля, вследствие чего и наблюдают сплошную дифракционную картину, отражающую волновые свойства рассматриваемого поля. Если, однако, осуществить дифракцию чрезвычайно слабого потока излучения, такого, чтобы кванты поля падали в небольшом числе, то почернение на фотопленке, на которой наблюдают результат дифракции, будет тоже возникать отдельными точками. Только при достаточно большой экспозиции, когда суммарное число поглощенных квантов станет велико, можно будет обнаружить, что распределение точек почернения следует кар-

тине дифракции непрерывного поля с данной длиной волны.

Таким образом, сочетание корпускулярных и волновых свойств, отражаемое квантовой механикой, свойственно элементарным частицам материи любого рода.

Волновая функция. Состояние тела, рассматриваемого как материальная точка, в классической механике определялось его координатой и скоростью в каждый момент времени. Мы видели, что микрочастицы обладают свойствами, исключающими возможность такого описания состояния. Сочетание корпускулярных и волновых свойств у микрочастиц приводит к тому, что состояние таких частиц характеризуется более сложной физической величиной, так называемой волновой функцией.

Волновая функция для микрообъекта, находящегося в данном состоянии, является полной квантово-механической характеристикой его физического состояния. Волновая функция частицы в данном состоянии характеризует объективное состояние этой частицы аналогично тому, как, например, напряженность электромагнитного поля характеризует состояние материи в форме поля. Волновая функция полностью определяет вероятность тех или иных изменений состояния микрообъекта при возможных воздействиях и, в частности, таких изменений, при которых пространственная локализация этого микрообъекта может быть осуществлена с любой степенью точности. Интерпретация волновой функции данного состояния объекта полностью раскрывается только через взаимосвязь этого объекта с другими объектами.

Волновая функция может быть выражена как функция координат и времени — $\psi(x, y, z, t)$ — и определяет пространственно-временную локализацию микрообъекта. Так, если частица находится в таком состоянии, что она локализована в малой, ограниченной области пространства, то ψ-функция данного состояния объекта вне этой области обращается в нуль. Квадрат абсолютной величины волновой функции $|\psi(x, y, z, t)|^2$, вообще говоря, дает *плотность вероятности того, что при взаимодействии с объектами, способными перевести частицу в состояние с определенным положением, эта частица окажется в момент t в точке с координатами x, y, z.*

Подобное описание в некотором отношении весьма сходно с описанием в классической электродинамике. На-

пряженность электрического поля есть объективная характеристика данного состояния. Точный смысл этой величины раскрывается через взаимосвязи системы с другими объектами: по определению, напряженность количественно равна силе, с которой поле действует в данной точке на единичный электрический заряд. В то же время существование поля данной напряженности до помещения в него вспомогательного заряда, до измерения и до вмешательства какого бы то ни было наблюдателя является объективным фактом.

Волновая функция, подобно напряженности поля в классической физике, дает количественную характеристику возможного поведения тех объектов, которые наблюдаются в процессе физического измерения. Разница лишь в том, что ψ-функция, как статистическая характеристика предусматривает, вообще говоря, не одну возможность того или иного поведения микрообъекта при одних и тех же макроскопических условиях. Так, например, процесс распада остановившегося μ-мезона, обусловленный его взаимодействием с электронно-нейтринным полем, характеризуется совершенно определенной схемой распада (на электрон и 2 нейтрино) и определенной вероятностью распада в единицу времени (заметим, что в квантовой электродинамике напряженность электрического поля также приобретает статистические свойства).

Таким образом, количественная интерпретация ψ-функции, как и электромагнитного поля, раскрывается через связи с другими объектами. Признание объективного, не зависящего от наблюдателя существования квантовой частицы и квантовых закономерностей, также есть то фундаментальное, что отличает материалистическое понимание квантовой механики от позитивистсткого.

Для того чтобы волновая функция имела указанный выше смысл объективной характеристики физического состояния частицы, в частности для того, чтобы ее можно было интерпретировать количественно, она должна удовлетворять трем важным условиям.

Во-первых, она должна быть непрерывна, т. е. ни в какой точке пространства она не должна меняться скачком. Это требование тесно связано с непрерывностью самого пространства. Только непрерывные функции могут выражать пространственно-временную локализацию объекта в непрерывном пространстве.

Во-вторых, функция должна быть однозначна, т. е. в данной точке пространства теория должна давать однозначное указание о вероятности того, что при взаимодействии с соответствующими телами частица обнаружится в состоянии с определенной локализацией. В этом требовании отражается важная черта квантовой механики — наличие вполне определенной статистической закономерности движения частицы.

Наконец, третье требование, заслуживающее особого внимания, состоит в том, что функция должна быть такой, чтобы квадрат ее модуля, проинтегрированный по всему пространству, в каждый момент времени был равен единице. Физический смысл этого требования состоит в утверждении, что частица всегда существует в пространстве. Следовательно, при взаимодействии с телами, способными перевести частицу в состояние с определенным положением, частица заведомо где-либо обнаружится (вероятность, равная единице, есть достоверность). Таким образом, в самом формальном аппарате квантовой механики заложено утверждение, что частица существует во времени и пространстве. Это убедительно показывает неправильность утверждений, будто квантовая механика представляет собой теорию, согласно которой частица существует вне времени и пространства. Такое утверждение уже только в свете указанного требования (называемого условием интегрируемости) обнаруживает свою полную несостоятельность.

Закон изменения функции ψ во времени и пространстве (уравнение Шредингера) занимает в квантовой механике то место, которое в классической механике занимали законы Ньютона. Это уравнение в принципе позволяет находить волновые функции частиц в любых заданных внешних условиях. В частности, на его основе нашла полное разъяснение проблема строения и устойчивости атома, проблема, явившаяся основным камнем преткновения для классической физики.

Если речь идет, например, об атоме водорода, то задача сводится к определению такой функции ψ для электрона, которая удовлетворяла бы уравнению Шредингера для этого случая (т. е. при учете кулоновского поля притяжения ядра) и имела бы физический смысл, т. е. удовлетворяла бы сформулированным выше трем физическим требованиям.

Описанный метод отыскания ψ-функции во многих случаях приводит к дискретным возможным состояниям системы.

Оказывается, например, что решение уравнения Шредингера, удовлетворяющее упомянутым трем требованиям, возможно не при всех энергиях электрона в атоме, не при всех значениях его механического момента (момента количества движения), а лишь при некоторых, строго определенных. Таким образом, квантовая механика естественно приводит к тому квантованию состояний, которое было угадано еще в первых попытках создания квантовой теории Планком и Бором. При этом численные значения энергии и других характеристик атома получаются в соответствии с опытом.

Стационарное состояние атома отличается тем, что для него энергия имеет совершенно определенное значение. При переходе атома (электрона в атоме) из одного состояния в другое энергия и механический момент меняются скачкообразно, дискретно. Другие же величины, и прежде всего координата электрона и его количество движения в стационарном состоянии атома, не имеют определенных значений. Но ψ-функция статистически строго предопределяет совокупность значений этих величин, которая получится при взаимодействии атомов с другими объектами, способными перевести электрон в состояние с определенной координатой или в состояние с определенным количеством движения.

Столь же точно ψ-функция предопределяет вероятность (при соответствующем взаимодействии) перехода частицы в состояние с данным значением любой другой физической величины. Иными словами, хотя в атоме ни Δx, ни Δp у электронов не равны нулю, ψ-функция электрона в атоме статистически закономерно определяет характер взаимодействия электрона с окружающими телами.

Итак, состояние частицы (в более общем случае — системы частиц) характеризуется волновой функцией (ψ-функцией) данного состояния. Изменение волновой функции во времени при любых внешних воздействиях на частицу может быть определено из основного уравнения квантовой механики. Значение ψ-функции в данный момент времени однозначно определяет ее значение в любой последующий момент времени, если заданы внешние условия, в которых будет находиться частица.

Закономерность изменения ψ-функции во времени статистически предопределяет результаты всех возможных взаимодействий частицы в будущем. В этой форме находит свое выражение закон причинности в квантовой механике. Конечно, эта форма закона причинности в квантовой механике существенно отличается от детерминизма классической механики. Общепринятое выражение детерминизма в классической механике в применении к отдельной частице гласит, что при данных внешних условиях положение и скорость частицы в данный момент времени однозначно определяют положение и скорость частицы в любой последующий момент времени.

Достаточно так сформулировать классическую постановку вопроса о причинности, чтобы увидеть неприменимость подобной формы детерминизма к реальной микрочастице. Микрочастица есть объект, у которого состояние с точно определенными в данный момент времени скоростью и положением невозможно. Подобное сочетание характеристик противоречит свойствам микрочастиц. Следовательно, самая формулировка механистического детерминизма в применении к микрочастице невозможна, и уже поэтому закон причинности должен иметь иную форму. В действительности он реализуется в форме закона однозначного развития во времени квантового состояния. Как уже упоминалось, квантовое состояние характеризуется однозначно определяемой волновой функцией.

Таким образом, закон причинности находит в применении к микрочастице новое выражение, существенно отличное от механистического понимания детерминизма.

Неприменимость механистического детерминизма к микрочастицам противники материалистического понимания природы пытаются представить как отсутствие объективных закономерностей в природе и, следовательно, как новое «опровержение» материализма. Метафизически абсолютизируя понятия и закономерности классической физики, они отождествляют механистический материализм с материализмом вообще. Между тем диалектическому материализму глубоко чуждо абсолютизирование механистического детерминизма как якобы единственной закономерности в природе. Задолго до появления квантовой механики Энгельс подчеркивал узость, односторонность механистической каузальности. В. И. Ленин указывал на неспособность этой концепции охватить всю сложную взаимосвязь

явлений. Он писал: «Образование (абстрактных) понятий и операции с ними *уже* включают в себе представление, убеждение, *сознание* закономерности объективной связи мира. Выделять каузальность из этой связи нелепо» [1].

Преодоление ограниченной применимости механистического детерминизма составляет историческую заслугу диалектического материализма. Открытие новой формы закона причинности в микромире свидетельствует также об узости метафизического материализма. Только философская неграмотность, а часто и стремление использовать выводы науки в интересах реакционной философии, являются причинами того, что этот крах метафизического материализма выдается за подтверждение идеализма.

Соотношение неопределенностей. Раскрытие специфических свойств микрочастиц материи вызвало переход от прежних физических характеристик движения материи к более полным и существенно новым, обогативших наши знания об окружающем мире.

Однако мы являемся свидетелями многочисленных утверждений распространяемых в капиталистических странах, будто вскрытые квантовой механикой новые закономерности движения частиц вещества означают, что движение перестает быть материальным.

На самом же деле, как мы видели выше, уже сам формальный аппарат квантовой механики отражает в своих основных положениях тот факт, что в каждый момент времени частица существует в пространстве. Поэтому совершенно недопустимо считать, будто крах классической концепции механического движения микрочастиц по определенным траекториям означает отрицание движения во времени и пространстве.

В свое время В. И. Ленин показал, что крах представления о неизменной механической массе есть крушение только метафизического материализма, но не означает отказа от признания материальности мира. Подобно этому нельзя думать, что отсутствие одновременно точных местоположения и скорости частицы в какой-либо мере противоречит материалистическому мировоззрению, в частности признанию пространства и времени коренными формами существования материи. Наоборот, раскрытие новых

---

[1] В. И. Ленин. Философские тетради. Сочинения, т. 38, стр. 169.

свойств элементарных частиц показывает правильность предсказания диалектического материализма о том, что процесс познания ведет нас не просто к накапливанию новых дополнительных фактов, а к вскрытию качественно новых закономерностей.

Сочетание корпускулярных и волновых свойств у одних и тех же объектов (электронов, нейтронов и т. п.) не может быть объяснено в рамках классической механики. Но ведь самые представления классической механики о мгновенном положении тел и мгновенной скорости являются абстракциями. В определенных условиях абстракции классической механики достаточно точно отражают закономерности механического движения. Поскольку эти абстракции классической механики односторонне отражают лишь корпускулярные, дискретные особенности объекта, постольку закономерности ее распространяются лишь на те физические явления, в которых волновые свойства объектов играют ничтожную роль и проявления их пренебрежимо малы. Квантовая механика указывает пределы применимости старой классической теории. Волновые свойства характеризуются длиной волны $\lambda = \frac{h}{P}$. Пока линейные размеры l, характеризующие явление (амплитуда колебаний, размеры области движения и т. п.), велики по сравнению с длиной волны, законы классической механики довольно точно отражают объективные закономерности природы. Но коль скоро условия таковы, что соотношение $l \gg \lambda$ не оправдывается, законы и абстракции классической механики теряют силу. Таковы, например, условия движения электронов в атомах. Закономерности строения атомов нельзя объяснить, как мы видели, оставаясь в рамках классической физики. Основное представление классической механики о том, что состояние движущегося объекта определяется одновременными мгновенными значениями координат и количества движения, оказалось в атомных условиях несостоятельным.

Положение данного объекта, его локализацию в пространстве нельзя рассматривать вне связи данного объекта с окружающими условиями, как нельзя рассматривать и количество движения объекта вне связи с окружающими условиями. При более глубоком изучении атомных процессов наука в силу обстоятельств была вынуждена применить диалектический метод исследования, в частности

изучать явления природы в их неразрывной связи с окружающими условиями.

Состояние объекта с определенным положением в пространстве осуществляется в результате взаимодействия с другими объектами. Это признавала также и классическая физика. Однако классическая физика считала, например, что все физические величины, характеризующие взаимодействия, изменяются непрерывно, а такие величины, как размеры области локализации частицы, всегда могут быть сколь угодно малы и в пределе могут быть устремлены к нулю. В действительности было обнаружено, что некоторые физические величины, характеризующие то или иное состояние объекта, при некоторых взаимодействиях изменяются скачкообразно и ни при каких реальных условиях не устремляются к нулю. Так, например, энергия колебаний атомов в кристаллической решетке даже при приближении к абсолютному нулю температуры не стремится к нулю, а сохраняет конечное значение. Такая важная физическая величина, как момент количества движения, изменяется только скачкообразно.

Количество движения объекта также зависит от окружающих условий. Это признавала классическая физика. Но учет окружающих условий был не точен, так как не были известны ни дискретность некоторых физических величин, ни волновые свойства частиц. Более полный учет этих факторов показал, что условия, определяющие локализацию частицы в пространстве, одновременно оказывают воздействие и на величину ее количества движения; это обстоятельство отражено в квантовой механике в виде неравенства $\Delta x \cdot \Delta p \geqslant h$. Такую особенность квантовых объектов иногда формулируют по существу в духе агностицизма, считая, что законы природы препятствуют наблюдателю достигнуть одновременного знания энергетически-импульсных и пространственно-временных характеристик атомного объекта.

Если ограничиваться такой формулировкой, то можно прийти к заключению, что атомный объект сам по себе в каждый момент времени все же обладает как определенным положением, так и определенным количеством движения и что мы лишь не способны узнать их. Следовательно, здесь сначала абсолютизируются эти понятия классической механики, а затем признается невозможность их одновременного измерения. Отсюда «выводится»

принципиальная ограниченность познания. Между тем ясно, что нельзя измерить такое сочетание, которое объективно не существует, так что никакого ограничения познания объективной реальности здесь нет. В действительности представление об одновременном существовании точных значений x и p противоречит основам квантовой механики и не может быть с ними согласовано даже чисто формально.

С другой стороны, встречается утверждение, что атомные явления не всегда могут быть представлены как объективные процессы в пространстве и времени. Но дело в том, что при этом понимают объективное существование во времени и пространстве только в духе механистического материализма, как существование объекта с точно определенными координатой и импульсом. Крах этого метафизического представления не означает краха материализма. Хорошо известно предупреждение В. И. Ленина о том, что «...совершенно непозволительно смешивать, как это делают махисты, учение о том или ином строении материи с гносеологической категорией,— смешивать вопрос о новых свойствах новых видов материи (например, электронов) со старым вопросом теории познания, вопросом об источниках нашего знания, о существовании объективной истины и т. п.» [1].

Тождественность частиц. Одним из фундаментальных положений современной квантовой механики является принцип тождественности частиц, отражающей своеобразные, не знакомые классической физике свойства совокупности однотипных частиц. Эти свойства лежат в основе таких явлений, как химическая связь в гомеополярных молекулах (т. е. в молекулах, состоящих из одинаковых атомов, например в молекуле водорода), ферромагнетизм, устойчивость кристаллической решетки и многие другие.

Экспериментальным фактом является тождественность свойств элементарных частиц одного типа по отношению к таким признакам, как заряд, масса и спин. Так, для электрона эти характеристики при всех взаимодействиях остаются одними и теми же, несмотря на воздействия, претерпеваемые частицами. Это не значит, что частицы вообще не могут быть изменены. При взаимодействии

---

[1] В. И. Ленин. Сочинения, т. 14, стр. 116.

электрона с позитроном обе эти частицы могут исчезнуть и вместо них появятся два фотона; в результате этого процесса массы покоя, заряды и спины частиц претерпевают изменения. Однако, как и для некоторых характеристик атома, эти изменения системы происходят всегда скачкообразно. Другими словами, элементарная частица в отношении заряда, спина и других свойств характеризуется только дискретными значениями. Но в отличие от теории атома теория элементарных частиц находится еще в начальной стадии своего развития. Устойчивость атомов и подобных им систем находит объяснение в квантовой механике, а состояния, обладающие устойчивостью, могут быть предвычислены из основных уравнений теории для каждой системы, теория же элементарных частиц, которая позволила бы, исходя из общих фундаментальных принципов, предвычислить осуществляющиеся дискретные значения заряда, массы и т. д., еще не создана (по этому поводу см. стр. 59). Мы вынуждены в настоящее время принимать тождественность элементарных частиц одного сорта просто как исходный эмпирический факт. В этом факте находит свое особое выражение принцип атомизма материи. Здесь речь идет не только о пространственной разделенности мельчайших частиц вещества, но и о дискретности некоторых свойств и динамических характеристик отдельных частиц.

Учет тождественности элементарных частиц, входящих в состав той или иной системы, производится в квантовой механике своеобразным способом. Если частицы тождественны, то по отношению к результатам любых взаимодействий они должны быть совершенно равноправны. Так как эти результаты выражаются в квантовой механике только статистически, то это значит, что вероятность того или иного результата взаимодействия должна быть одинакова для всех входящих в данную систему частиц. Равноправностью, т. е. симметричностью относительно одинаковых частиц, должна характеризоваться, таким образом, вероятность, которая всегда дается в виде квадратичного выражения от волновой функции. Поскольку состояние системы характеризуется в квантовой механике волновой функцией, тождественность частиц придает волновой функции определенные черты: для одинаковых частиц волновая функция должна приводить к равным вероятностям процессов, идущих с их участием. Отсюда легко

сделать вывод (чисто математически), что ψ-функция должна быть либо симметрична, либо антисимметрична относительно одинаковых частиц, т. е. либо не меняться, либо менять лишь знак при обмене местами двух частиц. Это свойство определений симметрии волновых функций и выражает факт тождественности частиц в квантовой механике, при учете, кроме того, вероятностного, статистического смысла волновой функции. Уже такое ограничение вида возможных функций и, следовательно, вида возможных состояний системы без всяких новых предположений приводит к важным выводам. Оказывается, например, что при внешних воздействиях, не разрушающих самих частиц, волновая функция системы не может менять характера симметрии т. е. превратиться из антисимметричной в симметричную или наоборот.

Все существующие элементарные частицы распадаются на две группы: для одних (электроны, позитроны, протоны, нейтроны, μ-мезоны и т. д.) волновая функция всегда антисимметрична, для других (фотоны, π-мезоны и т. д.) — всегда симметрична. Подобное коренное различие волновых функций отражает различие свойств этих частиц. Так, например, оказывается, что «антисимметричные» частицы не могут больше одной находиться в одинаковых состояниях. Таким образом, здесь речь идет о более общей и новой форме давно известного принципа Паули, играющего исключительно важную роль для объяснения строения молекулярных и атомных систем. Именно в силу этого принципа в атоме электроны располагаются на разных «орбитах». Между тем для «симметричных» частиц такого ограничения нет. В «атоме», в котором вместо электронов были бы отрицательные π-мезоны, в устойчивом состоянии все π-мезоны находились бы на низшем уровне.

Следует заметить, что иногда этот принцип формулируется как «принцип неразличимости». В основу кладется не объективный факт дискретности основных характеристик частиц (заряда, массы, спина) и связанная с этим тождественность частиц одного типа, а утверждение, что тождественные частицы „принципиально неразличимы“ и что, вследствие субъективной неспособности «наблюдателя» различить одинаковые частицы, волновая функция должна обладать определенной симметрией. Таким образом, объективное свойство тождественности основных характеристик частиц одного типа подменяется субъектив-

ной неразличимостью, которая в действительности является следствием тождественности.

Между тем очевидно, что способность атомов водорода образовывать молекулу, электропроводность металлов и тому подобные объективные явления не могут зависеть от способности или неспособности какого-либо наблюдателя различать частицы. Произвольно связывая с «принципом неразличимости» частиц важнейшие следствия квантовой механики, неизменно оправдывающиеся на опыте и дающие надежное средство познания природы и воздействия на нее, идеалисты тщетно стараются доказать, что субъективистское понимание квантовой механики необходимо с ней связано, что якобы, согласно квантовой механике, процессы нельзя считать протекающими в пространстве и времени «независимо от душевных переживаний» и т. д.

ПОЛЯ И «ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ» ЧАСТИЦЫ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

Как отмечалось ранее, еще до создания последовательной квантовой механики было обнаружено, что свет следует рассматривать как совокупность элементарных полей (квантов или фотонов), каждое из которых описывается волной, но в то же время взаимодействует с веществом и существует независимо от других элементарных полей.

Выше уже упоминалось, что корпускулярно-волновой дуализм имеет место как для квантов электромагнитного поля, так и для других частиц материи. Более подробный анализ этого вопроса подтверждает вывод, что электромагнитное поле должно быть поставлено в один ряд с волновыми «полями» частиц, что квант света — такая же «частица», как и другие, отличающаяся лишь тем, что ее масса покоя равна нулю, а электромагнитную волну можно сопоставить с волновой функцией этой частицы. С другой стороны, с точки зрения современной теории все «обычные» частицы должны рассматриваться как «кванты» соответствующих полей, которые могут быть представлены их волновыми функциями. Так π-мезоны — это кванты ядерного поля, ответственного за взаимодействия между нуклонами, электрон — квант электронного поля и т. д. В отличие от фотонов (а также, например, от нейтрино) они обладают массой покоя; поэтому такие поля распро-

страняются всегда со скоростью, меньшей скорости света. При образовании частиц в результате каких-либо взаимодействий «поле» этих частиц обогащается соответствующим числом квантов. Следовательно, выделение этих «простейших» элементов каждого «поля» не случайно. Подобно фотонам, они могут излучаться и поглощаться их источниками (например, π-мезоны излучаются нуклонами) только как целое. Так, в радиоактивном β-распаде электрон рождается, т. е. излучается, ядром атома радиоактивного вещества. Эта возможность испускания и поглощения кванта данного поля независимо от других частиц делает его физически выделенным объектом.

Понятие кванта поля в современной физике тесно связано с принципом суперпозиции, о котором уже упоминалось выше, т. е. с возможностью представить соответствующие поля как наложение, суперпозицию «простейших» полей, элементов поля, рассматриваемых, например, в виде плоских волн. Образ плоской волны характеризует «квант» соответствующего поля. Частота и длина волны — эти необходимые характеристики всякой плоской волны — связаны с энергией и импульсом соответствующего кванта, причем, связь эта носит универсальный характер; для электронов, мезонов и т. д. она такая же, как и для фотонов: $E = h\nu$, $p = \frac{h}{\lambda}$ (E и p — энергия и импульс частицы, ν и λ — частота и длина волны соответствующего волнового поля, h — постоянная Планка). Следовательно, наиболее общим свойством свободной частицы в современной физике является прежде всего ее способность иметь определенную энергию и импульс, которые связаны между собой соотношением $E^2 - (pc)^2 = (mc^2)^2$, где m — масса частицы (причем в таком состоянии она описывается «элементарной», бесконечно протяженной плоской волной — «волной вероятности»). Согласно воззрениям современной физики, этим свойством обладают любые частицы. Это новое представление о частице обогащает основное понятие атомизма, понятие элементарной частицы.

С более общей точки зрения понятие «элементарной» частицы в известном смысле пришло на смену древнему понятию «атома» вещества. А в настоящее время становится все более очевидным, что в судьбе этих понятий с дальнейшим развитием науки появляется много общего.

Слово «атом» давно утратило свой первоначальный буквальный метафизический смысл; его физическое содержание давно противоречит непосредственному терминологическому смыслу [1]. Теперь мы знаем, что атомы изменчивы и делимы, атомы на современном уровне науки — не элементарные частицы.

Элементарные частицы современной физики вошли в науку, как элементарные «кирпичи мироздания».

Не лишен интереса простой перечень сущностей, которые в различное время претендовали на роль элементарных.

«Элементарные» стихии древних сменились у Лукреция Кара бесконечным числом разнообразных атомов, а затем во времена алхимии уступили место двум «элементам» — сере и ртути, которые, соединившись между собой, якобы произвели всю видимую природу.

Позже число обнаруженных «элементов» (ими стали современные «химические элементы») сильно возросло и в настоящее время превышает сто. Затем два «элемента» (электрон и протон) стали серьезными претендентами на фундаментальное значение в природе. Был период (от начала XX в. до, примерно, 1932 г.), когда считали, что весь мир построен из электронов и протонов. Но мы стали свидетелями быстрого возрастания числа «элементарных» частиц: открыт позитрон, нейтрон, μ-мезоны (обоих знаков заряда), π-мезоны (нейтральный и заряженные), антинуклоны, K-мезоны и гипероны нескольких типов (с их античастицами). Доказано существование и нейтрино, а затем и двух разновидностей нейтрино. (см. таблицу на стр. 62—67).

Обнаружение таких «атомов» нового типа всегда свидетельствовало об открытии новой ступени в структуре материи.

С другой стороны, различного рода «элементарные сущности» вещества в системе понятий физики данного времени указывали, как правило, на определенный уровень знаний в эту эпоху. Это обычно означало (в эпоху научного естествознания), что экспериментальные данные еще настолько грубы, что не позволяют рассматривать «структуру элементарных частиц», а многие изученные

---

[1] Слово «атом» в переводе с древнегреческого означает «неделимый».

физические явления с экспериментальной точностью данного времени можно объяснить, не рассматривая эту структуру.

«Элементарная частица» воды, т. е. то, что некогда называли «атомом» воды, а впоследствии молекулой, по своим свойствам резко отличается от атомов кислорода и водорода, составляющих эту молекулу, а протоны, нейтроны и электроны, т. е. элементарные частицы, составляющие эти атомы, взятые сами по себе, представляют собой форму материи, качественно совершенно отличную от водорода и кислорода.

Эти качественные скачки при переходе от молекулы воды к атому водорода и кислорода, а от них к протонам и электронам, настолько резки и определенны, что здесь мы имеем каждый раз качественно отличные физические явления. Это обстоятельство весьма важно. Если о нем забыть, то вместо излагаемой точки зрения мы получим часто встречающуюся другую, как будто очень сходную, а по существу резко отличающуюся. Иногда считают, что на каждом этапе развития науки мы называем элементарными те частицы, строения которых не знаем и которые рассматриваем как точечные, т. е. лишенные какой-либо пространственной структуры. Но, ограничиваясь только этими словами, понятие элемента сводят к тому или иному уровню нашего знания, т. е. придают понятию об элементе субъективистский характер.

Атомы, в широком смысле этого слова, обычно являются определенными ступенями, стадиями в развитии самой материи, а соответствующие им понятия — «вехами нашего познания природы», моментами нашего познания при его движении от относительной к абсолютной истине.

Смену атомистических форм идеалистическая философия обычно истолковывала как крах атомизма и даже материализма, аргументируя это так, что самое понятие атома теряет всякий объективный смысл. Но диалектический материализм (в отличие также от материализма метафизического) дает возможность правильно понять природу смены атомистических форм. Появление различных атомистических понятий отнюдь не случайно, эти понятия отображают узлы, ступени, стадии самой материи, качественно отличные ее формы.

Для широкого круга людей с понятием частицы связывается образ маленького шарика, «песчинки». В современ-

ной физике понятие элементарной частицы — это более общее и качественно иное, специфическое понятие.

С точки зрения современной теории, общим для всех элементарных частиц является то обстоятельство, что они рассматриваются как кванты, тождественные между собой частицы соответствующего поля. Еще недавно в трактовке элементарных частиц имелся большой налет метафизичности; эти понятия вначале вошли в науку как элементарные структурные единицы вещества, связанные друг с другом исключительно внешним образом в том смысле, что существование, например, протона считали возможным независимо от существования мезона.

В последние годы взаимосвязь частиц, взаимная обусловленность их свойств выявляется все резче. Протон и нейтрон взаимодействуют через так называемые ядерные силы. Другими словами, вокруг протона и нейтрона имеется поле ядерных сил. В настоящее время установлено, что квантами этого поля являются заряженные и нейтральные π-мезоны [1].

С точки зрения корпускулярной концепции поле ядерных сил состоит из π-мезонов. Следовательно, это поле можно себе наглядно представить в виде «облака» мезонов, окружающего протоны и нейтроны. Однако облако мезонов вокруг протона и нейтрона настолько определяет свойства протона и нейтрона, что мезоны в известном смысле почти «структурно» входят в протон и поэтому содержание понятия протона становится неотделимым от содержания понятия мезона.

Действительно, π-мезоны ответственны за ядерные силы, действующие между протоном и нейтроном. Массой π-мезона определяется радиус действия этих сил:

$$r_0 = \frac{h}{\mu c},$$

где μ — масса мезона, c — скорость света. Токи мезонного облака вокруг нейтрона или протона определяют магнитные моменты нуклонов.

Весьма важным обстоятельством является существование античастиц. Оказывается, что для каждой известной частицы существует «парная» ей частица, которая имеет

---

[1] Во всяком случае π-мезоны определяют ядерные силы на расстояниях, бо́льших $\sim 1 \cdot 10^{-13}$ *см.*

точно такую же массу, такой же спин (собственный вращательный момент; см. ниже) и ту же абсолютную величину сил взаимодействия с другими частицами. Однако она может отличаться знаком этих сил взаимодействия.

Первой, раньше всех открытой, из таких пар частиц были электрон и позитрон. Затем были открыты и другие пары: μ^+- и μ^--мезоны, π^+- и π^--мезоны, протон и антипротон. В каждой из этих пар частицы различаются знаком электрического заряда. Существуют пары нейтральных частиц — античастиц (например, нейтрон и антинейтрон, нейтрино и антинейтрино). В некоторых случаях, однако, у частицы не существует античастицы. В этом случае можно сказать, что частица совпадает с античастицей (например, нейтральный π-мезон). Но во всех случаях можно отметить одно общее свойство этих пар: каждая такая пара может, исчезая, превратиться в другие частицы, у которых масса покоя может быть меньше, чем у исходных частиц, или равна нулю: электрон и позитрон, положительно и отрицательно заряженные мезоны, протон и антипротон — все они могут превратиться в фотоны.

Экспериментально установлено также, что антипротон и протон, аннигилируя, превращаются в несколько (в среднем пять) π-мезонов разных знаков заряда, с небольшой примесью K-мезонов (причем их суммарный электрический заряд равен нулю).

С другой стороны, мезон, если он обладает достаточной кинетической энергией, может в подходящих условиях превратиться в нуклоны (нейтральный π-мезон в протон и антипротон или в нейтрон и антинейтрон; положительно заряженный π-мезон в протон и антинейтрон и т. п.). Эта возможность превращения π-мезонов в нуклоны (протоны и нейтроны) в свою очередь определяет ряд существенных свойств мезонов. Процесс β-распада представляет собой одновременное излучение ядром электрона и нейтрино. Следовательно, можно наряду с другими полями говорить об электронно-нейтринном поле, т. е. о таком поле, квантом которого являются электроны и нейтрино одновременно. Электронно-нейтринное поле также вносит свою долю в физические свойства протона и нейтрона и определяет добавочные силы взаимодействия между ними. Эти силы очень слабы по сравнению с ядерными и электромагнитными (см. ниже).

Таким образом, на наших глазах открываются все новые свойства элементарных частиц; так, нуклоны, кроме электрического заряда, являются носителями ядерного заряда, заряда π-мезонного поля, и т. д. Протоны и нейтроны в свою очередь вносят известный вклад в физические свойства электрона, электрон и нейтрино взаимодействуют через протонно-нейтронное поле и т. д.

Все это ярко иллюстрирует ленинский тезис о неисчерпаемости свойств элементарных частиц. Указание В. И. Ленина о «неисчерпаемости электрона» надо понимать не просто в структурно-механическом смысле. Оно отнюдь не означает, что электрон состоит, например, из «субэлектронов» меньших размеров, но в остальном тождественных тому же электрону, а означает неисчерпаемость свойств самого электрона, последовательно раскрываемых в ходе развития науки.

Идеи о взаимной связи и всеобщем взаимодействии все глубже проникают в современную физику. Взаимная обусловленность свойств элементарных частиц делает их в сущности очень сложными образованиями в указанном смысле.

Для современных элементарных частиц характерна взаимная превращаемость их друг в друга. Протон достаточно большой энергии превращается в нейтрон, например с испусканием мезона, элементарные частицы распадаются на другие элементарные частицы. Нейтрон распадается на электрон, протон и антинейтрино, нейтральный π-мезон распадается на два фотона. Это не означает, что указанные частицы не являются элементарными, но меняет традиционное ньютоновское содержание атомизма и затрудняет в некоторой мере решение вопроса о том, какое материальное образование следует относить к классу элементарных частиц, а какое к классу сложных, составных. Почему, например, атом водорода под действием света способный распасться на электрон и протон (фотоэффект), мы считаем не элементарной частицей, а протон, который под действием такого же света (только гораздо большей частоты) превращается в нейтрон и испускает π^+-мезон, мы называем элементарной частицей и не считаем, что он составлен из нейтрона и π^+-мезона? Пока физика на этот вопрос не дает вполне убедительного ответа. Пока что критерий «элементарности» сводится на практике к количественному различию в энергии связи.

Согласно теории относительности, масса атома m связана с заключенной в нем энергией E простым соотношением:

$$E = mc^2,$$

где c — скорость света. Поскольку для отрыва электрона от атома нужно затратить энергию, ясно, что масса атома меньше суммы масс свободных невзаимодействующих электрона и протона. Однако эта разница («дефект массы») очень мала по сравнению с массой каждой частицы, и можно считать, что электрон и протон, соединяясь вместе, почти обособлены и существуют в атоме как индивидуальные элементы. Но для того, чтобы протон породил π-мезон, нужно затратить огромную энергию — «дефект массы» здесь даже больше массы π-мезона. Поэтому говорят, что π-мезон не существует в протоне до того, как он образовался.

Однако есть и такие случаи, когда различие не столь явно. Так, например, масса Λ-гиперона превосходит массу нуклона на величину, бо́льшую массы π-мезона. Распад Λ-гиперона на протон и π-мезон выглядит поэтому как вылет π-мезона из системы, в которой он уже существовал в «готовом виде». Тем не менее Λ-гиперон рассматривают как элементарную частицу. То же самое можно сказать и о других нестабильных частицах.

Такая неясность в вопросе о том, что именно следует считать элементарной частицей, обостряет интерес к более общей проблеме, которая не первый раз возникает в истории атомизма, когда число элементарных образований, принимаемых за первичные, становится сравнительно большим. На каждой данной стадии познания, установив существование элементарных кирпичей данного «уровня», наука постепенно вскрывает все новые их типы. Когда число этих типов становится достаточно большим, обнаруживается, что они представляют собой различные сочетания гораздо меньшего числа типов более глубоких элементов материи.

В настоящее время число известных «элементарных частиц» достигло примерно тридцати. Они могут быть сведены в таблицу, которую мы здесь приводим. Эти частицы различаются прежде всего следующими свойствами: массой, электрическим зарядом и так называемым спином — собственным моментом количества движения, который для

макроскопического тела означает просто интенсивность вращения вокруг своей оси (для элементарной частицы такой простой образ следует применять с осторожностью). Как известно, момент количества движения имеет размерность произведения энергии на время. За единицу измерения спина принимается величина $h/2\pi$. Оказывается, что в этих единицах спины известных элементарных частиц равны 0 $^1/_2$ или 1. Значение спина тесно связано с характером симметрии волновой функции данной частицы, о которой уже говорилось. Частицы с целым спином (0, 1, 2) описываются симметричными функциями, а частицы полуцелого спина ($^1/_2$) — антисимметричными.

Однако, когда мы в качестве основной характеристики берем электрический заряд, то с точки зрения современной теории несправедливо выделяем один из нескольких типов взаимодействий, существующих в природе. Электрический заряд есть мера силы взаимодействия данной частицы с электромагнитным полем, т. е. по существу с фотонами. Но мы уже говорили, что наряду с электромагнитными взаимодействиями, переносимыми фотонами, существуют другие взаимодействия, переносимые квантами других полей.

В настоящее время, по-видимому, можно считать, что существуют четыре основных типа взаимодействий: «сильные», «электромагнитные, «слабые» и гравитационные. Для каждого из них можно назвать те частицы, которые участвуют в данном взаимодействии.

Сильные взаимодействия. К сильным взаимодействиям относятся так называемые ядерные силы — силы между протонами и нейтронами, обусловленные π-мезонами, а также K-мезонами. Эти же силы обусловливают взаимодействие π- и K-мезонов и гиперонов с нуклонами и между собой. Мерой этих сил является некоторая константа связи («ядерный заряд») — новая физическая величина, которая характеризует все сильно взаимодействующие частицы, подобно тому как электрический заряд характеризует заряженные частицы.

Электромагнитные взаимодействия. Эти взаимодействия переносятся квантами электромагнитного поля — фотонами. Мерой этих взаимодействий и является электрический заряд, которым обладают электрон, позитрон и μ-мезон, для которых эти взаимодействия являются главными. Но электрический заряд есть также у протона.

Таблица элементарных

№ п/п	Название, символ	Где встречается	Масса покоя (в единицах массы электрона)
1	Фотон, γ	Квант электромагнитного поля (квант света, радиоволн, рентгеновых лучей, γ-лучей и т. п., в зависимости от его частоты).	0
	Лептоны		
2	Нейтрино, ν	Возникает при радиоактивном β-распаде а также при распаде μ-, π- и K-мезонов.	$\leqslant 0,0005$ (принято считать равной нулю)
3	Антинейтрино, $\tilde{\nu}$	То же	»
4	Электрон, e (e^-)	Одна из основных составных частей всех атомов. Возникает при радиоактивном β-распаде некоторых ядер, при распаде μ-, K- и π-мезонов, а также при конверсии γ-кванта в электронно-позитронную пару в кулоновском поле ядра.	1
5	Позитрон (античастица по отношению к электрону), e^+	Возникает при радиоактивном β-распаде некоторых ядер, распаде μ-, π- и K-мезонов, а также в процессе конверсии γ-кванта в электрон-позитронную пару в электрическом поле ядер. В земных условиях быстро (в плотном веществе за время $\sim 10^{10}$ *сек*) аннигилирует с электроном, давая γ-кванты.	1
6	μ^--мезон	Возникают при распаде π^+- и K-мезонов; могут генерироваться γ-квантами достаточно большой энергии в ускорителях, а также космическими лучами в земной атмосфере.	206,8
7	μ^+-мезон (античастица по отношению к μ^--мезону)		206,8

частиц (1962 г.)

Стабильность: среднее время жизни τ, *сек*	Стабильность: продукты распада (для основных распадов)	Электрический заряд (в единицах элемент. заряда, $e = 4{,}80286 \cdot 10^{-10}$ CGSE)	Спин (в единицах $h/2\pi$)	Примечания
∞	—	0	1	
∞	—	0	$^1/_2$	В 1962 г. было открыто существование двух разновидностей нейтрино: μ-мезонного и электронного нейтрино.
∞	—	0	$^1/_2$	
∞	—	—1	$^1/_2$	
∞	—	+1	$^1/_2$	
$2{,}21 \cdot 10^{-6}$	$e^- + \nu + \widetilde{\nu}$	—1	$^1/_2$	
$2{,}21 \cdot 10^{-6}$	$e^+ + \nu + \widetilde{\nu}$	+1	$^1/_2$	

№ п/п	Название, символ	Где встречается	Масса покоя (в единицах массы электрона)
	Мезоны		
8	π^+-мезон	Возникают при соударении нуклонов, π- и K-мезонов и гиперонов достаточно высокой энергии (в космических лучах и на протонных ускорителях), при аннигиляции нуклонов с антинуклонами и т. п.	273,2
9	π^--мезон (античастица по отношению к π^+-мезону)		273,2
10	π^0-мезон		264,2
11	K^+-мезон		966,5
12	K^--мезон (античастица по отношению к K^+-мезону)		966,5
13	K^0-мезон		974
14	$\tilde{K}^0$-мезон (анти-K^0-мезон)		974
	Барионы		
	А. Нуклоны		
15	Протон, p	Основные составные части ядер атомов	1836,1
16	Нейтрон, n		1838,6
17	Антипротон, $\tilde{p}$	Образуются при столкновении сильно взаимодействующих частиц высокой энергии (на ускорителях, в космических лучах). В земных условиях аннигилируют при столкновении с нуклонами	Массы антинуклонов считаются равными массами p и n, что не противоречит экспериментальным данным
18	Антинейтрон, $\tilde{n}$		

Продолжение таблицы

Стабильность		Электрический заряд (в единицах элемент. заряда, $e = 4{,}80286 \cdot 10^{-10}$ CGSE)	Спин (в единицах $h/2\pi$)	Примечания
среднее время жизни τ, *сек*	продукты распада (для основных распадов)			
$2{,}55 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ + \nu$	$+1$	0	
$2{,}55 \cdot 10^{-8}$	$\mu^- + \widetilde{\nu}$	-1	0	
$2 \cdot 10^{-16}$	$\gamma + \gamma$ $(\gamma + e^+ + e^-)$	0	0	
$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ + \nu$ $\pi^+ + \pi^0$	$+1$	0	K^0 и K^0-мезоны различаются по их неэлектромагнитному взаимодействию
$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$\mu^- + \widetilde{\nu}$ $\pi^- + \pi^0$	-1	0	
K^0_1 $1{,}0 \cdot 10^{-10}$	$\pi^+ + \pi^-$ $(\pi^0 + \pi^0)$	0	0	K_1^0 и K^0_2 — две разные комбинации частицы (K^0) и античастицы ($\widetilde{K}^0$)
K^0_2 $6 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ + \pi^- + \pi^0$ $(\pi^\mp + \nu + e^\pm)$ $(\pi^\mp + \nu + \mu^\pm)$	0	0	
∞	—	$+1$	$^1/_2$	
$1{,}0 \cdot 10^3$	$p + e^- + \widetilde{\nu}$	0	$^1/_2$	Общее название нуклоны
∞	—	-1	$^1/_2$	
По-видимому, $1{,}0 \cdot 10^3$	По-видимому, $\widetilde{p} + e^+ + \nu$	0	$^1/_2$	

№ п.п	Название, символ	Где встречается	Масса покоя (в единицах массы электрона)
	Б. Гипероны		
19	Λ^0-гиперон (ламбда-нуль-частица)	Образуется при столкновении сильно взаимодействующих частиц высокой энергии на ускорителях и в космических лучах	2182,8
20	$\tilde{\Lambda}^0$-гиперон (анти-ламбда-нуль-частица)		2182,8
21	Σ^+-гиперон (сигма-частица)		2328
22	$\tilde{\Sigma}^+$-гиперон (анти-сигма-плюс-частица)		2328
23	Σ^0-гиперон (сигма-нуль-частица)		2332
24	$\tilde{\Sigma}^0$-гиперон (анти-сигма-нуль-частица)		2332
25	Σ^--гиперон (сигма-минус-частица)		2341
26	$\tilde{\Sigma}^-$-гиперон (анти-сигма-минус-частица)		2341
27	Ξ^0-гиперон (кси-нуль-частица)		~2570
28	$\tilde{\Xi}^0$-гиперон (анти-кси-нуль-частица)		~2570
29	Ξ^--гиперон (кси-минус-частица)		2580
30	$\tilde{\Xi}^-$-гиперон (анти-кси-минус-частица)		2580
	Гипотетические частицы		
31	(Гравитон)	Квант гравитационного поля (поля тяготения); его существование и свойства устанавливаются на основании теоретического анализа уравнений гравитации; гравитон пока не обнаружен экспериментально (что неудивительно, так как энергия гравитона чрезвычайно мала).	—

Стабильность: среднее время жизни τ, *сек*	Стабильность: продукты распада (для основных распадов)	Электрический заряд (в единицах элемент. заряда, $e = 4,80286 \times 10^{-10}$ CGSE)	Спин (в единицах $h/2\pi$)	Примечания
$2,5 \cdot 10^{-10}$	$\left\{ \begin{array}{l} p + \pi^- \\ n + \pi^0 \end{array} \right.$	0	$^1/_2$	
$2,5 \cdot 10^{-10}$	$\tilde{p} + \pi^+$ $\tilde{n} + \pi^0$	0	$^1/_2$	
$0,8 \cdot 10^{-10}$	$p + \pi^0$ $n + \pi^+$	+1	$^1/_2$	
$0,8 \cdot 10^{-10}$	$\tilde{p} + \pi^0$ $\tilde{n} + \pi^-$	−1	$^1/_2$	
$<10^{-11}$	$\Lambda^0 + \gamma$	0	$^1/_2$	
$<10^{-11}$	$\tilde{\Lambda}^0 + \gamma$	0	$^1/_2$	
$1,6 \cdot 10^{-10}$	$n + \pi^-$	−1	$^1/_2$	
$1,6 \cdot 10^{-10}$	$\tilde{n} + \pi^+$	+1	$^1/_2$	
$1,5 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0 + \pi^0$	0	$^1/_2$	Ξ-гипероны называют «каскадными гиперонами»; это связано с тем, что после их распада возникает частица, которая сама затем распадается.
$1,5 \cdot 10^{-10}$	$\tilde{\Lambda}^0 + \pi^0$	0	$^1/_2$	
$1 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0 + \pi^-$	−1	$^1/_2$	
$1 \cdot 10^{-10}$	$\tilde{\Lambda}^0 + \pi^+$	+1	$^1/_2$	
∞	—	0	2	

заряженного π-мезона и других сильно взаимодействующих частиц. Однако электромагнитное взаимодействие последних на малых расстояниях, порядка размеров элементарных частиц, грубо говоря, в 100 раз слабее ядерного, «сильного» взаимодействия (обусловленного наличием «ядерного заряда», которого нет у электрона).

Слабые взаимодействия. Они обусловливают β-распад (распад нейтрона на протон, электрон и антинейтрино, или распад протона на нейтрон, позитрон и нейтрино), а также распад μ-мезона на электрон, нейтрино и антинейтрино, распады гиперонов и т. д. Слабые взаимодействия в $10^{10} \div 10^{12}$ раз слабее сильных взаимодействий. В слабых взаимодействиях участвуют нейтрино. В конце 50-х годов слабые взаимодействия были исключительно успешно изучены, и в настоящее время закон слабых взаимодействий известен так же надежно, как, скажем, закон Кулона. Мерой интенсивности слабых взаимодействий для частиц может служить соответствующий «нейтринный заряд» частицы.

Гравитационные взаимодействия — самые слабые из всех существующих и в то же время ранее всех обнаруженные человечеством. Как известно, все тела взаимодействуют посредством тяготения, сила которого пропорциональна произведению масс тел. Поэтому «зарядом» частицы по отношению к гравитационному полю является ее масса. Гравитационное взаимодействие протонов примерно в 10^{38} раз слабее их ядерного (сильного) взаимодействия, когда они находятся на расстоянии порядка 10^{-13} *см* друг от друга (например, в атомном ядре). Они в 10^{36} раз меньше их же электрического взаимодействия на любых расстояниях. Однако «гравитационный заряд» (масса) имеет у всех частиц одинаковый, положительный знак. Поэтому нейтральное в электрическом отношении тело имеет гравитационный «заряд». Гипотетические кванты гравитационного поля (гравитоны) несут столь малую энергию, что до сих пор они не были обнаружены экспериментально. Указанный в таблице их спин получен теоретически из уравнения поля тяготения по обычным правилам квантовой теории.

Таким образом, взаимодействия всего разнообразия известных в настоящее время элементарных частиц сводятся к четырем типам. Естественно возникает вопрос: не су-

ществует ли какого-то более фундаментального, единого поля, некоторой более элементарной сущности (или сущностей), различными квантовыми состояниями которой являются различные известные частицы. Такой вопрос, несомненно, стоит на очереди в современной физике, но пути его последовательного разрешения еще неясны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ развития современных представлений о строении материи приводит к блестящему подтверждению известного предсказания Ленина о том, что современная физика «рождает диалектический материализм». Это высказывание, сделанное более 50 лет назад, в период, когда происходила глубокая ломка основных представлений физики, наилучшим образом формулирует соотношение между физическими и философскими взглядами на свойства и строение материи.

Действительно, только с позиций диалектического материализма физикам удается наметить правильный путь к решению наиболее важных и сложных проблем, выдвинутых на данном этапе развития науки. В то же время выводы, которые пытаются сделать из новых достижений физики позитивисты и идеалисты, при ближайшем рассмотрении оказываются совершенно несостоятельными.

Как можно было судить из содержания настоящей брошюры, наиболее общими и важными вопросами учения о строении материи, вопросами, стоящими на грани между физикой и философией, является следующие.

1. Неисчерпаемость свойств материи, исторически обусловленная ограниченность любых физических представлений о ее строении, и при этом вполне объективное содержание этих представлений, характеризующих определенный этап в познании мира, в отражении сознанием человека объективных закономерностей окружающей природы. Одним из наиболее ярких примеров для иллюстрации этого тезиса является открытие новых видов и новых свойств элементарных частиц.

2. Невозможность понять сущность объектов, составляющих основу строения материи, без познания противоречивых и, казалось бы, исключающих друг друга свойств этих объектов. Речь идет прежде всего об органическом синтезе волновых и корпускулярных свойств микрообъ-

ектов, с чем связаны существенные ограничения применимости таких важнейших понятий классической механики, как импульс, координата, траектория частицы и т. д.

3. Необходимость рассмотрения причинных связей более общего характера, чем простые динамические закономерности классической механики, с их однозначным детерминизмом лапласовского типа. С этим связаны такие важнейшие вопросы квантовой физики, как физический смысл волновой функции, роль и значение статистических закономерностей в поведении микрообъектов и другие.

4. Неизбежность учета тесной связи между свойствами пространства и времени, с одной стороны, и движением материи — с другой.

5. Принципиальное значение взаимодействий, в которых существенную роль в частности может играть измерительный прибор, созданный человеком специально для выявления тех или иных свойств изучаемых объектов. Это обстоятельство, конечно, ни в коей мере не означает, что без наблюдателя и без прибора микрообъект вообще не существует. Речь идет лишь о том, что в отличие от классической и квантовой физике взаимодействие изучаемого объекта с прибором, как правило, существенно влияет на движение объекта и тем самым определяет собой возможность проявления тех или иных характеристик объекта.

6. Важность совершенно четкого разграничения между такими философскими вопросами, как объективное и закономерное существование и движение материи в пространстве и времени, и чисто физическими вопросами о конкретных формах строения и движения материи, конкретных видах взаимодействия материальных объектов различного типа и т. д.

СОДЕРЖАНИЕ

От классической физики к квантовой

Основные представления учения
о строении материи

Под редакцией *Б. М. Вула* и *Е. Л. Фейнберга*

Утверждено редколлегией
научно-популярной литературы
Академии наук СССР

Редактор Издательства *С. И. Ларин*
Художник *Ю. К. Бажанов*
Технический редактор *О. Г. Ульянова*

Сдано в набор 20/VII 1962 г. Подписано
к печати 4/X 1962 г. Формат $84 \times 108^1/_{32}$.
Печ. л. 2,25. Усл. печ. л. 3,69. Уч.-изд. л. 3,6
Тираж 17000 экз. Т-11446. Изд. № 1104.
Тип. зак. № 966
Цена 11 коп.

Издательство Академии наук СССР
Москва, Б-62, Подсосенский пер., 21
2-я тип. Издательства Академии наук СССР
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ИСПРАВЛЕНИЯ И ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
62	3 кол. 10 сн.	10^{10}	10^{-10}
64	4 кол. 6 сн.	массами	массам
65	5 кол. 3 св.	K° и K°	K° и $\widetilde{K}^{\circ}$
67	4 кол. 2, 3, 4 и 5 сп.	$1/2$	$1/2$ (?)
70	11 сн.	и квантовой	в квантовой

Заказ № 966

Цена 11 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР